



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL141584

**PENGARUH KECEPATAN PUTAR DAN RASIO
LUASAN TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI
GALVANIC COUPLING BAJA AISI 1045 &
STAINLESS STEEL 304 PADA LINGKUNGAN
3,5% NaCl DENGAN *METODE ROTATING
CYLINDER ELECTRODE (RCE)***

BAYU YUDHA PRATAMA
NRP. 02511440000019

Dosen Pembimbing
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
Lukman Noerochim, S.T, M.Sc., Eng., PhD.

Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh
Nopember Surabaya
2018



TUGAS AKHIR - TL141584

**PENGARUH KECEPATAN PUTAR DAN RASIO
LUASAN TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI
GALVANIC COUPLING BAJA AISI 1045 &
STAINLESS STEEL 304 PADA LINGKUNGAN
3,5% NaCl DENGAN *METODE ROTATING
CYLINDER ELECTRODE (RCE)***

**BAYU YUDHA PRATAMA
NRP. 02511440000019**

**Dosen Pembimbing
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
Lukman Noerochim, S.T., M.Sc., Eng., PhD.**

**Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya2018**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



TUGAS AKHIR - TL141584

**EFFECT OF ROTATION VELOCITY AND AREA
RATIO ON GALVANIC COUPLING CORROSION
OF AISI 1045 AND SS304 IN 3,5% NaCl
ENVIRONMENT USING ROTATING CYLINDER
ELECTRODE (RCE)**

**BAYU YUDHA PRATAMA
NRP. 02511440000019**

Advisor

Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

Lukman Noerochim, S.T., M.Sc., Eng., PhD.

**Materials and Metallurgical Engineering Department
Faculty of Industrial Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH KECEPATAN PUTAR DAN RASIO LUASAN
TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI *GALVANIC*
COUPLING BAJA AISI 1045 & *STAINLESS STEEL* 304
PADA LINGKUNGAN 3,5% NaCl DENGAN *METODE*
*ROTATING CYLINDER ELECTRODE (RCE)***

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan
Metalurgi Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

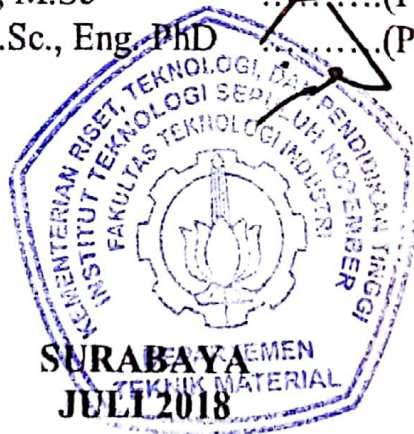
Oleh:

Bayu Yudha Pratama
NRP. 02511440000019

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Budi Agung K, S.T., M.Sc
2. Lukman N., S.T., M.Sc., Eng. PhD

.....(Pembimbing 1)
.....(Pembimbing 2)



**PENGARUH KECEPATAN PUTAR DAN RASIO LUASAN
TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI GALVANIC
COUPLING BAJA AISI 1045 & STAINLESS STEEL 304
PADA LINGKUNGAN 3,5% NaCl DENGAN METODE
ROTATING CYLINDER ELECTRODE (RCE)**

Nama : Bayu Yudha Pratama
NRP : 02511440000019
Jurusan : Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
Lukman Noerochim, S.T., M.Sc., Eng., PhD.

Abstrak

Korosi merupakan bentuk degradasi material atau perusakan suatu logam karena bereaksi dengan lingkungannya. Laju korosi dari suatu material dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu adanya pengaruh aliran akibat kecepatan putar serta adanya kontak metalik antara dua logam yang berbeda jenis (*galvanic coupling*). Dalam penelitian ini dibahas mengenai karakteristik korosi *galvanic coupling* pada baja AISI 1045 dan *stainless steel* 304 terhadap pengaruh kecepatan putar dan rasio luasan dengan metode *Rotating Cylinder Electrode* (RCE). Rasio luasan antara baja karbon AISI 1045 dengan *stainless steel* 304 yaitu 1:1, 1:4, dan 4:1 dengan variasi kecepatan putar 0 rpm, 150 rpm, dan 250 rpm pada lingkungan 3,5% NaCl selama 10 hari. Hasil pengujian *weight loss* didapatkan bahwa nilai laju korosi baja tertinggi terjadi ketika kecepatan putar 250 rpm dengan rasio luasan 1:4, mengalami kenaikan sebesar 5,997% terhadap rasio luasan 1:1 sebesar 2,461 mm/yr. Laju korosi baja mengalami kenaikan yang cukup signifikan terhadap kecepatan putar 0 rpm pada semua parameter uji hingga lebih dari 500%. Hasil pengujian visual didapatkan morfologi permukaan baja berupa pola jejak penyerangan korosi pada permukaan baja serta produk korosi yang menumpuk dan tebal pada *coupling* ketika adanya kecepatan putar. Hasil pengujian XRD sampel baja dengan kecepatan putar 250 rpm dengan rasio luasan 1:4 menghasilkan *peak* tertinggi berupa

senyawa Fe_2O_3 , selain itu terdapat senyawa FeCl_2 . Laju korosi baja AISI 1045 mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan kecepatan putar dan penurunan luasan baja AISI 1045 terhadap SS304. Namun pengaruh kecepatan putar lebih dominan terhadap meningkatnya laju korosi daripada efek *galvanic coupling*. Kecepatan putar mengakibatkan perubahan morfologi permukaan baja AISI 1045 bahwasanya pada permukaan baja terbentuk pola jejak penyerangan korosi yang tidak utuh dan menyebar di sekitar *coupling*.

Kata kunci : Kecepatan Putar, Perbandingan Luasan, Korosi
Galvanic Coupling, Rotating Cylinder Electrode

EFFECT OF ROTATION VELOCITY AND AREA RATIO ON GALVANIC COUPLING CORROSION OF AISI 1045 COUPLING WITH SS304 IN 3,5% NaCl ENVIRONMENT USING ROTATING CYLINDER ELECTRODE (RCE)

Name : Bayu Yudha Pratama
NRP : 02511440000019
Department : Materials and Metallurgical Engineering Department
Advisor : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
Lukman Noerochim, S.T., M.Sc., Eng., PhD.

Abstract

Abstract

Corrosion is degradation of material because reacts with surrounding environment. Corrosion rate of a material is affected by several factors such as the effect of flow due to rotation velocity and metallic contact between two different types of metal . In this study discussed about effect of rotation velocity and area ratio on galvanic coupling corrosion of AISI 1045 coupling with SS304 in 3,5% NaCl using Rotating Cylinder Electrode (RCE). Area ratio used in this study between AISI 1045 coupled with SS304 are 1:1, 1:4, and 4:1. The results of weight loss test showed the highest corrosion rate is 2,461 mm/yr from the sample with area ratio 1:4 at 250 rpm. Sample with area ratio 4:1 has lower corrosion rate than the other area ratio (1:1 and 1:4) for all rotation velocity. Corrosion rate due to 0 rpm rotation velocity has significant increase to 917% at 250 rpm. Visual tests resulted the morphology of steel surfaces, has patterns which caused by flow and produces more thick corrosion product at the coupling. XRD tests from sample with 1:4 area ratio at 250 rpm resulted highest peak of Fe_2O_3 . FeCl_2 also detected in the results which means steel reacts with the NaCl environments. The corrosion rate of steel was increased by the effect of galvanic coupling with SS304 and increasing of the area ratio of SS304 to AISI 1045. The effect of rotation velocity was more accelerated the corrosion rate of AISI

1045 due to galvanic coupling and the morphologies of steel surfaces showed spread and unwhole pattern of traces of corrosion attack.

Keywords : *Rotation Speed, Area Ratio, Galvanic Coupling Corrosion, Rotating Cylinder Electrode*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir pada departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang berjudul:

“PENGARUH KECEPATAN PUTAR DAN RASIO LUASAN TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI GALVANIC COUPLING BAJA AISI 1045 & STAINLESS STEEL 304 PADA LINGKUNGAN 3,5% NaCl DENGAN METODE ROTATING CYLINDER ELECTRODE (RCE)”

Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan doa serta dukungannya.
3. Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis yang telah memberikan ilmu, bimbingan dan arahan kepada penulis.

4. Bapak Lukman Noerochim, S.T., M.Sc., Eng., PhD. selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir penulis yang telah memberikan arahan saat menulis tugas akhir.
5. Bapak Tubagus Noor Rohmannudin, S.T.,M.Sc. dan Bapak Wikan Jatimurti, S.T, M. Sc selaku dosen penguji penulis.
6. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Departemen pada Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS.
7. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si. M.Si, PhD. selaku Dosen Wali penulis pada Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS.
8. Dosen dan karyawan yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
9. Dintya Azmirrasti yang selalu menemani dan memberi semangat penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
10. Ahmad Wildan Zakawali sebagai *partner* penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
11. Fenty Ferdianty dan Resti Nur Faridah sahabat yang selalu memberikan masukan dan motivasi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
12. Anugrah Firsadin, Ridho Ma'ruf Quluq, Isro'uf Gerio Pangestu yang telah menemani dan membantu penulis selama perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
13. Teman-teman angkatan 2014 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
14. Teman-teman Ambayu yang telah memberikan semangat penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Baja.....	5
2.2 <i>Stainless Steel</i>	6
2.3 Pengertian Korosi.....	7
2.4 Jenis-jenis Korosi.....	8
2.5 Perhitungan Laju Korosi Metode <i>Weight Loss</i>	9
2.6 Korosi <i>Galvanic Coupling</i>	10
2.7 Pengaruh Luasan.....	11
2.8 Deret EMF	12
2.9 <i>Rotating Cylinder Electrode</i> (RCE).....	16
2.10 Larutan NaCl sebagai Media Korosi.....	19
2.11 Penelitian Sebelumnya.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir.....	27
3.2 Metode Perancangan.....	28
3.3 Prosedur Penelitian.....	28

3.4 Pengujian.....	33
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Data.....	37
4.2 Pembahasan.....	60
BAB V KESIMPULAN	
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	xviii
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Korosi <i>galvanic coupling</i> pada sambungan plat dan baut.....	11
Gambar 2.2 Pengaruh luasan katoda <i>mild steel</i> terhadap pengurangan beban anoda Zn dengan luasan 100 cm ² dan jumlah aliran bilangan Coulombs.....	12
Gambar 2.3 Deret Galvanik dari beberapa logam dan paduan dalam air laut	14
Gambar 2.4 Deret EMF dalam Air Laut,,.....	15
Gambar 2.5 (a) <i>Rotating Cylinder Electrode</i> (b) Pine AFMSRX <i>Electrode Rotator</i>	16
Gambar 2.6 Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi pada baja karbon dalam larutan teraerasi.....	20
Gambar 2.7 Kurva Laju Korosi (A) AISI 1010 dan (B)SS 304 setelah Perendaman 2 hari, 4 hari, dan 6 hari.....	21
Gambar 2.8 Kurva Kerapatan Arus Galvanik dan Tegangan terhadap Kecepatan Aliran	22
Gambar 2.9 Hasil pengamatan SEM pada baja karbon setelah pengujian korosi galvanik pada laju aliran (a) 0 m/s dan (b) 0,2 m/s.....	23
Gambar 2.10 Perubahan Berat pada baja karbon, baja karbon dipasangkan dengan magnetit dengan rasio luasan 1, dan dengan rasio luasan 20 setelah pengujian <i>immersion</i> dengan kecepatan aliran 2 m/s pada 60° C selama 500 jam	24
Gambar 2.11 Hasil Pengamatan SEM menunjukkan morfologi permukaan pada baja karbon (a) <i>uncoupled</i> (b) <i>coupled</i> dengan rasio luasan 1 dan (c) <i>coupled</i> dengan rasio luasan 20 setelah pengujian <i>immerse</i> dengan kecepatan aliran 2 m/s pada 60° C selama 500 jam	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan.....	27
Gambar 3.2 Bentuk dan Luasan Spesimen Uji dengan Panjang (a) 40 mm (b) 10 mm ²	29

Gambar 3.3 Pengukuran Panjang Sampel. (a) 40 mm dan (b) 10 mm.....	30
Gambar 3.4 (a) Melubangi tutup toples dengan solder, (b) merangkai potensio dan memasang kabel pada dynamo dengan solder, (c) memotong teflon, (d) merangkai dynamo dan poros teflon pada tutup toples sebagai alat RCE.....	32
Gambar 3.5 Penimbangan berat NaCl untuk pembuatan larutan.....	33
Gambar 3.6 Instrumen pengamatan visual, (a) kamera digital (b) mikroskop metalurgi.....	35
Gambar 3.7 Instrumen pengujian XRD Panalytical.....	35
Gambar 4.1 Pengaruh Rasio Luasan Baja AISI 1045 dengan SS304 pada kecepatan putar 0, 150, dan 250 rpm.....	39
Gambar 4.2 Grafik Laju korosi baja terhadap pengaruh rasio luasan pada kecepatan putar 0, 150, dan 250 rpm.....	42
Gambar 4.3 Hasil Pengamatan Visual secara Makro Baja AISI 1045 di <i>couple</i> dengan SS304 Rasio Luasan (a) 1:1, (b) 1:4 dan (c) 4:1 pada Kecepatan 0 RPM.....	43
Gambar 4.4 Hasil Pengamatan Visual secara Makro Baja AISI 1045 di <i>couple</i> dengan SS304 Rasio Luasan (a) 1:1, (b) 1:4 dan (c) 4:1 pada Kecepatan 150 RPM.....	45
Gambar 4.5 Hasil Pengamatan Visual secara Makro Baja AISI 1045 di <i>couple</i> dengan SS304 Rasio Luasan (a) 1:1, (b) 1:4 dan (c) 4:1 pada Kecepatan 250 RPM.....	46
Gambar 4.6 Kondisi Larutan setelah Pengujian RCE selama 10 Hari, (a) 0 rpm, (b) 150 rpm, dan (c) 250 rpm.....	47
Gambar 4.7 Morfologi Produk Korosi Baja AISI 1045 dengan perbesaran 50x pada 0 rpm, (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1	49
Gambar 4.8 Morfologi Produk Korosi Baja AISI 1045 dengan perbesaran 50x pada 150 rpm, (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1	51
Gambar 4.9 Morfologi Produk Korosi Baja AISI 1045 dengan perbesaran 50x pada 250 rpm, (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1	53
Gambar 4.10 Morfologi Permukaan Baja AISI 1045 dengan perbesaran 50x pada 0 rpm, (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1	55

Gambar 4.11 Morfologi Permukaan Baja AISI 1045 dengan perbesaran 50x pada 150 rpm, (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1	57
Gambar 4.12 Morfologi Permukaan Baja AISI 1045 dengan perbesaran 50x pada 250 rpm, (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1	59
Gambar 4.13 Hasil pengujian XRD baja AISI 1045 pada kecepatan putar 250 RPM dengan rasio luasan 1:4.....	60

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi beberapa baja karbon dan baja paduan rendah standard AISI-SAE.....	5
Tabel 2.2 Komposisi beberapa stainless steel.....	7
Tabel 2.3 Besaran konstanta faktor yang digunakan berdasarkan satuan.....	10
Tabel 2.4 Perhitungan hidrodinamika RCE pada air.....	18
Tabel 3.1 Rancangan Data Hasil Uji <i>Weight Loss</i>	34
Tabel 3.2 Rancangan Pengujian Seluruhnya.....	36
Tabel 4.1 Nilai bilangan Reynold pada tiap kecepatan putar.....	37
Tabel 4.2 Hasil Pehitungan Laju Korosi Baja AISI 1045 setelah pengujian <i>weight loss</i>	38
Tabel 4.3 Persentase kenaikan dan penurunan laju korosi terhadap rasio luasan 1:1.....	40
Tabel 4.4 Persentase kenaikan laju korosi terhadap kecepatan putar 0 RPM.....	41

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Korosi merupakan suatu peristiwa kerusakan atau penurunan kualitas suatu bahan logam yang disebabkan interaksi terhadap lingkungan. Pada dasarnya, berbagai macam lingkungan mempengaruhi terjadinya korosi. Fenomena korosi tidak dapat dicegah kehadirannya ataupun dihilangkan, merupakan fenomena yang jelas terjadi adanya. Korosi merupakan masalah yang serius bagi setiap industri, karena memberikan dampak negatif pada jalannya proses di industri tersebut. Timbulnya korosi dapat mengakibatkan meningkatnya biaya perawatan dan operasi dan tak jarang hingga menghentikan proses produksi yang mengakibatkan kerugian dari sisi ekonomi akibat adanya kegagalan akibat korosi yang tidak terduga. (Fontana, 1987)

Korosi *Galvanic Coupling* merupakan salah satu jenis korosi yang sangat merugikan, jenis korosi ini terjadi apabila adanya kontak antara dua logam yang berlainan dan memiliki nilai potensial yang berbeda dalam suatu lingkungan yang sama. Bahwasanya logam yang memiliki nilai potensial lebih tinggi bersifat katodik, sedangkan yang berpotensi lebih rendah bersifat anodik. Pada logam yang bersifat anodik mengalami reaksi oksidasi akibat melepaskan elektron dan memberikannya kepada logam yang kekurangan elektron (katodik). Biasanya korosi jenis ini menyerang pada sambungan baut dan mur, serta pada sambungan pipa. Agar tidak terjadi korosi galvanis, sebaiknya diberikan insulasi sebagai pemisah antara kedua logam berbeda jenis agar tidak terjadi kontak, sebagai contoh ketika baut berbahan baja karbon dengan mur berbahan stainless steel dapat digunakan *ring* plastik (*plastic washers*) sebagai pemisah kedua logam tersebut agar tidak terjadi kontak (Trethewey & Chamberlain, 1991).

Upaya untuk memantau laju korosi dapat dilakukan pada kondisi *real* maupun skala laboratorium. Penentuan laju korosi skala laboratorium dapat dilakukan dengan sistem *flow loop*,



Rotating Cylinder Electrode (RCE), maupun *Rotating Disk Electrode* (RDE). Namun simulasi *flow loop* memiliki kendala pada biaya yang tinggi serta rumit dalam penginstalan. Untuk mengatasi kendala pada simulasi *flow loop*, maka mulai dilakukan penelitian menggunakan metode *Rotating Cylinder Electrode* (RCE) yang penggunaannya lebih praktis dan mudah dalam proses penginstalan.

Dalam penelitian ini digunakan metode RCE dengan variasi kecepatan putaran 0 rpm, 150 rpm, dan 250 rpm dengan variasi rasio luasan antara baja AISI 1045 dengan stainless steel 304 yaitu 1:1, 4:1, dan 1:4. Parameter waktu yang digunakan yaitu 10 hari dan Media korosi berupa larutan NaCl 3,5%. Pemilihan material baja AISI 1045 dan stainless steel 304 dipertimbangkan karena kedua jenis material tersebut banyak dipasangkan (*coupled*) dalam perindustrian.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang diteliti pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh kecepatan putar dan rasio luasan baja AISI 1045 dengan stainless steel 304 terhadap karakteristik korosi *galvanic coupling* di lingkungan 3,5% NaCl dengan metode *rotating cylinder electrode* (RCE) ?
2. Bagaimana pengaruh kecepatan putar dan rasio luasan terhadap morfologi permukaan logam yang terkorosi *galvanic coupling*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian, ditetapkan batasan-batasan masalah pada penelitian sebagai berikut :

1. Material baja AISI 1045 dan stainless steel 304 dianggap homogen dan bebas dari cacat.
2. Sampel memiliki kekasaran permukaan yang halus dan tidak memiliki cacat.



-
3. Kecepatan putaran konstan selama waktu pencelupan/perendaman.
 4. Tidak ada perubahan yang terjadi pada pH, temperature dan volume larutan.
 5. Sambungan kedua logam dianggap kuat sebagai *galvanic coupling*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini antara lain:

1. Menganalisa pengaruh kecepatan putar dan rasio luasan baja karbon AISI 1045 dengan stainless steel 304 terhadap karakteristik korosi *galvanic coupling* di lingkungan 3,5% NaCl dengan metode *rotating cylinder electrode* (RCE).
2. Mengamati morfologi permukaan yang terbentuk pada logam yang terkorosi *galvanic coupling*.

1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Hasil dari penelitian dapat dijadikan sebagai informasi yang saling melengkapi penelitian-penelitian sebelumnya mengenai laju korosi menggunakan *Rotating Cylinder Electrode*.
2. Mampu memberikan inspirasi dan motivasi bagi peneliti lain agar dapat terus mengembangkan potensi yang ada pada penggunaan alat *Rotating Cylinder Electrode*.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 termasuk kedalam baja karbon sedang, memiliki kadar karbon antara 0,25% sampai 0,60%. Baja ini dapat diberikan perlakuan austenisasi, *quenching*, dan *tempering* untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Strukturnya terdiri dari ferrit dan perlit, dengan perlit yang cukup banyak sehingga baja ini lebih kuat dan keras, serta dapat dikeraskan namun sifat mekanik baja menjadi getas. Baja jenis ini banyak digunakan untuk konstruksi mesin, seperti poros, poros engkol, dan bagian lainnya yang membutuhkan kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi. (Callister, 2014)

Tabel 2.1 Komposisi beberapa baja karbon dan baja paduan rendah standard AISI-SAE (Callister, 2014)

AISI/SAE Designation ^a	UNS Designation	Composition Ranges (wt% of Alloying Elements in Addition to C) ^b			
		Ni	Cr	Mo	Other
10xx, Plain carbon	G10xx0				
11xx, Free machining	G11xx0				0.08–0.33 S
12xx, Free machining	G12xx0				0.10–0.35 S, 0.04–0.12 P
13xx	G13xx0				1.60–1.90 Mn
40xx	G40xx0			0.20–0.30	
41xx	G41xx0		0.80–1.10	0.15–0.25	
43xx	G43xx0	1.65–2.00	0.40–0.90	0.20–0.30	
46xx	G46xx0	0.70–2.00		0.15–0.30	
48xx	G48xx0	3.25–3.75		0.20–0.30	
51xx	G51xx0		0.70–1.10		
61xx	G61xx0		0.50–1.10		0.10–0.15 V
86xx	G86xx0	0.40–0.70	0.40–0.60	0.15–0.25	
92xx	G92xx0				1.80–2.20 Si



2.2 Stainless Steel

Stainless steel merupakan baja paduan yang mengandung minimal 10,5% Cr. Sedikit baja *stainless* mengandung lebih dari 30% Cr atau kurang dari 50% Fe. Karakteristik khusus baja *stainless* adalah pembentukan lapisan film kromium oksida (Cr_2O_3). Lapisan ini berkarakter kuat, tidak mudah pecah dan tidak terlihat secara kasat mata. Lapisan kromium oksida dapat terbentuk kembali jika lapisan rusak dengan adanya kehadiran oksigen. Pemilihan baja *stainless* didasarkan dengan sifat-sifat materialnya antara lain ketahanan korosi, fabrikasi, mekanik, dan biaya produk.

Penambahan unsur-unsur tertentu kedalam baja *stainless* dilakukan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Penambahan Molibdenum (Mo) bertujuan untuk memperbaiki ketahanan korosi pitting dan korosi celah
2. Unsur karbon rendah dan penambahan unsur penstabil karbida (titanium atau niobium) bertujuan menekan korosi batas butir pada material yang mengalami proses sensitasi.
3. Penambahan kromium (Cr) bertujuan meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk lapisan oksida (Cr_2O_3) dan ketahanan terhadap oksidasi temperatur tinggi.
4. Penambahan nikel (Ni) bertujuan untuk meningkatkan ketahanan korosi dalam media pengkorosi netral atau lemah. Nikel juga meningkatkan keuletan dan mampu bentuk logam. Penambahan nikel meningkatkan ketahanan korosi tegangan.
5. Unsur aluminium (Al) meningkatkan pembentukan lapisan oksida pada temperatur tinggi.

(Suherman, 1999)



Tabel 2.2 Komposisi beberapa stainless steel. (ASM International, 1994)

AISI* Type	Cr	Ni	C	Mn	Si	P	S
201	16-18	3.5-5.5	.15 max	5.5-7.5	1 max	.06 max	.03 max
202	17-19	4-6	.15 max	7.5-10	1 max	.06 max	.03 max
301	16-18	6-8	.15 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max
302	17-19	8-10	.15 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max
302B	17-19	8-10	.15 max	2 max	2-3	.045 max	.03 max
303	17-19	8-10	.15 max	2 max	1 max	.2 max	.15 min
303Se	17-19	8-10	.15 max	2 max	1 max	.2 max	.06 max
304	18-20	8-12	.08 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max
304L	18-20	8-12	.03 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max
305	17-19	10-13	.12 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max

2.3 Pengertian Korosi

Korosi merupakan proses degradasi sifat material yang disebabkan reaksi dengan lingkungannya. Korosi sebagai suatu reaksi elektrokimia yang memberikan kontribusi kerusakan fisik suatu material secara signifikan sehingga perlu perhatian untuk mencegah dan meminimalisasi kerugian yang timbul akibat efek korosi (Fontana, 1987). Ada beberapa elemen yang harus ada dalam sebuah mekanisme korosi yaitu adanya anoda yang merupakan tempat terjadinya reaksi oksidasi dan tempat dimana logam terkorosi, kemudian terdapat katoda yang merupakan tempat terjadinya reaksi reduksi dengan menerima elektron dari hasil reaksi oksidasi, lalu adanya elektrolit yang menghubungkan antara anoda dan katoda dan terdapatnya konduktor yang menghubungkan anoda dan katoda. (Peabody, 2001)

Berdasarkan reaksinya, korosi dibedakan menjadi dua jenis yaitu korosi kering dan korosi basah. Korosi kering atau korosi kimia adalah korosi yang terjadi melalui reaksi kimia secara murni tanpa adanya elektrolit, biasanya korosi jenis ini terjadi pada lingkungan dengan temperature tinggi atau lingkungan tanpa adanya kandungan uap air. Sedangkan korosi basah atau disebut juga korosi elektrokimia terjadi karena adanya elektrolit yang menyebabkan terjadinya reaksi dan terjadi perpindahan elektron antara material yang bersangkutan. (Fontana, 1987)



2.4 Jenis-jenis Korosi

Korosi telah diklasifikasikan melalui berbagai metode. Namun klasifikasi yang lebih sering digunakan adalah korosi basah dan korosi kering (Fontana, 1987). Korosi basah terjadi ketika terdapat adanya elektrolit. Ini biasanya melibatkan larutan berair atau elektrolit dan memberikan jumlah korosi terbanyak sejauh ini. Contoh paling sederhana adalah korosi baja oleh air. Korosi kering terjadi apabila tidak ada fase *liquid* atau di atas titik pengembunan dari lingkungan. Uap dan gas biasanya merupakan agen korosi. Korosi kering paling sering dihubungkan dengan temperatur tinggi. Sebagai contoh adalah serangan korosi pada baja oleh gas pada *furnace*.

Adanya sejumlah kecil embun dapat mengubah penggambaran korosi seluruhnya. Contoh klorin kering bersifat tidak korosif pada baja, namun adanya embun atau kelembapan atau klorin terlarut dalam air, sangatlah korosif dan serangan pada umumnya menyerang logam dan paduannya. Berbeda dengan titanium, gas klorin kering lebih korosif dibandingkan dengan klorin basah. Sedangkan berdasarkan jenis kerusakan dan morfologinya terdapat delapan jenis korosi yang menyerang logam, yaitu sebagai berikut :

1. Korosi Merata (*Uniform*)
2. Korosi Galvanik
3. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)
4. Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)
5. Korosi Batas Butir
6. Korosi Erosi
7. *Stress Corrosion Cracking*
8. *Dealloying (selective leaching)*



2.5 Perhitungan Laju Korosi Metode *Weight Loss*

Laju korosi dapat di definisikan sebagai banyaknya logam yang terlepas setiap satu satuan waktu dari logam tersebut, perhitungan laju korosi sangat penting, karena dapat digunakan untuk memprediksi umur pakai dari suatu material. Laju korosi dapat dihitung melalui dua metode yaitu metode *weight loss* dan polarisasi tafel.

Metode kehilangan berat atau *weight loss* adalah salah satu metode perhitungan laju korosi yang paling umum dan sering digunakan, metode ini didasarkan pada selisih berat awal sampel sebelum dilakukan pengujian korosi dan setelah dilakukan pengujian (Priantoro, 2012). Metode ini menggunakan jangka waktu penelitian, sehingga didapatkan jumlah kehilangan berat akibat korosi yang terjadi. Preparasi spesimen dilakukan dengan menggunakan kertas amplas dengan beberapa grade. Setelah itu dilakukan perendaman pada lingkungan korosi sesuai dengan waktu yang telah direncanakan (Jones, 1996). Perhitungan laju korosi dengan menggunakan metode *weight loss* ini adalah sebagai berikut :

$$CR = \frac{K.W}{D.A.T} \dots\dots\dots(2.1)$$

K= Konstanta Laju Korosi

W= Berat yang Hilang (gram)

D= Berat Jenis Logam (gram/cm³)

A= Luas Permukaan Kontak (cm²)

T= Waktu (Jam)



Tabel 2.3 Besaran konstanta faktor yang digunakan berdasarkan satuan (ASM Metal Handbook, 1987).

Corrosion rate units desired	Constant K in corrosion rate equation
Mils per year (mpy)	3.45×10^6
Inches per year (ipy)	3.45×10^3
Inches per month (ipm)	2.87×10^2
Millimeters per year (mm/yr)	8.76×10^4
Micrometers per year ($\mu\text{m/yr}$)	8.76×10^7
Picometers per second (pm/s)	2.78×10^6
Grams per square meter per hour ($\text{g/m}^2 \cdot \text{h}$)	$1.00 \times 10^4 \times \rho$
Milligrams per square decimeter per day (mdd)	$2.40 \times 10^6 \times \rho$
Micrograms per square meter per second ($\mu\text{g/m}^2 \cdot \text{s}$)	$2.78 \times 10^6 \times \rho$

Note: ρ is the density in g/cm^3 . Source: Ref 155

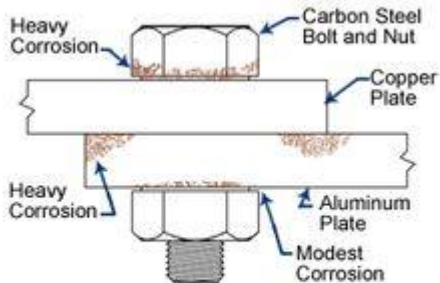
2.6 Korosi Galvanic Coupling

Ketika ada dua material logam yang berbeda jenis saling terikat (kontak) dan adanya elektrolit, serta adanya arus yang dimana dalam hal ini disebut arus galvanik, keadaan-keadaan tersebut merupakan syarat adanya korosi galvanik. Arus galvanik umumnya menyebabkan reduksi pada laju korosi total katodik pada *couple*. Dalam hal ini mengindikasikan bahwa katoda mengalami perlindungan katodik. (Revie, 2000)

Logam yang memiliki nilai potensial lebih tinggi bersifat katodik, sedangkan yang berpotensi lebih rendah bersifat anodik. Biasanya korosi jenis ini menyerang pada sambungan baut dan mur, serta pada sambungan pipa. Agar tidak terjadi korosi galvanis, sebaiknya diberikan insulasi sebagai pemisah antara kedua logam berbeda jenis agar tidak terjadi kontak, sebagai contoh ketika baut berbahan baja karbon dengan mur berbahan stainless steel dapat digunakan *ring* plastik (*plastic washers*) sebagai pemisah kedua logam tersebut agar tidak terjadi kontak. Dalam aplikasi penggunaan logam di lapangan, kontak antara dua logam yang berbeda selalu dijumpai. Contohnya pada aplikasi sistem perpipaan yang terdapat pada bangunan lepas pantai, pada sistem perpipaan kamar mesin di kapal. Adanya kontak antara dua logam berbeda



jenis ini memicu terjadinya penyerangan korosi. (Trethewey & Chamberlain, 1991)



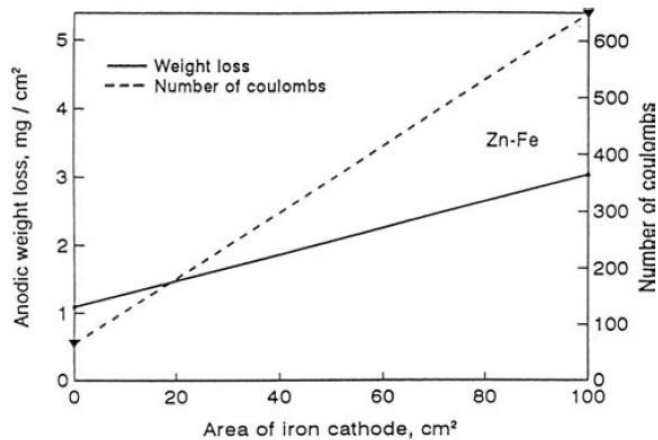
Effects of Galvanic Corrosion

Gambar 2.1 Korosi *galvanic coupling* pada sambungan plat dan baut (Trethewey & Chamberlain, 1991)

Banyak Faktor yang berperan penting dalam terjadinya korosi galvanik, korosi jenis ini lebih kompleks karena selain pengaruh jenis material dan lingkungan, faktor geometri juga berpengaruh. Menurut Revie (2000) salah satu faktor terjadinya korosi galvanik *couple* dijelaskan pada subbab berikutnya.

2.7 Pengaruh Luasan

Pada suatu penyambungan dua logam yang berbeda jenis, laju korosi yang terjadi pada *galvanic coupling* diantaranya dipengaruhi oleh faktor rasio luasan. Korosi *galvanic couple* dapat diperkecil dengan kombinasi perbandingan rasio luasan yang sesuai antara katoda dan anoda. Suatu kondisi yang tidak diinginkan adalah area katoda yang besar dan area anoda yang kecil, dengan kondisi ini maka yang terjadi adalah korosi yang menyerang bisa mencapai 10 sampai 100 kali terhadap kondisi dimana kedua logam sama ukurannya. (Fontana, 1987)



Gambar 2.2 Pengaruh luasan katoda *mild steel* terhadap pengurangan beban anoda Zn dengan luasan 100 cm² dan jumlah aliran bilangan Coulombs (Revie, 2000)

Pada beberapa kondisi, arus galvanik sebanding dengan luas permukaan katoda seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2 yang menunjukkan bahwa korosi galvanik pada Zn meningkat sejalan dengan semakin meningkatnya luasan dari Fe. Sehingga, didapat bahwa rasio luasan antara katoda dengan anoda sangat mempengaruhi laju korosi galvanik. Perlu diingat apabila kita terpaksa melakukan sambungan galvanik, maka jenis material yang dipilih tidak boleh memiliki selisih perbedaan potensial yang besar, serta memperhatikan luasan anoda dan katoda yang dipakai. (Revie, 2000)

2.8 Deret EMF

Logam yang memiliki potensial elektroda lebih besar bersifat katodik dibandingkan dengan potensial elektroda yang lebih kecil, sehingga logam yang potensial elektrodanya bersifat anodik. Standar tentang potensial dari beberapa bahan yang dipakai adalah (H_2/H^+), artinya potensial oksidasi dari gas hidrogen



menjadi ion hidrogen adalah nol. Penentuan harga emf (potensial elektroda) suatu logam didasarkan pada harga relative terhadap gas hidrogen (H_2/H^+). Pengukuran harga emf biasanya dilakukan dalam keadaan standar dengan temperature 298K dan tekanan 1 atm, konsentrasi logam dan larutan dibuat tepat 1 M, sehingga harga potensial terukur disebut potensial redoks standar.

Deret elektrokimia memuat data elektrokimia yang bersifat mutlak dan kuantitatif untuk penggunaan dalam perhitungan. Deret ini diukur pada kondisi-kondisi baku dan tidak bergantung pada unsur-unsur lain dalam lingkungan, sehingga deret elektrokimia hanya memuat tentang unsur-unsur logam. Deret galvanik menyatakan hubungan antara logam yang satu dengan yang lainnya dan dibuat dari hasil perbandingan kualitatif dan aktifitas logam-logam., sehingga deret galvanik memuat informasi baik mengenai logam murni maupun paduan. Deret galvanik diukur pada kondisi-kondisi temperatur, tekanan, dan elektrolit tertentu. Potensial (EMF) dari berbagai jenis logam murni sangat bervariasi antara satu dengan lainnya. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.3 yang memperlihatkan deret galvanik untuk sejumlah dengan air laut sebagai elektrolit. Potensial – potensial yang diurutkan adalah potensial korosi yang benar-benar bebas dan pada umumnya dapat ditafsirkan bahwa makin jauh letak kedua logam dalam deret, maka makin parah korosi yang dialami oleh logam dengan aktivasi lebih besar. Perbedaan inilah yang menjadi penyebab utama terjadinya korosi. Apabila perbedaan potensial (EMF) dari material yang dihubungkan itu kecil maka korosi yang terjadi juga kecil. Apabila perbedaan potensial besar, maka semakin besar pula lah korosi yang terjadi (Trethewey & Chamberlain, 1991)



↑ Noble or cathodic	Platinum
	Gold
	Graphite
	Titanium
	Silver
	Chlorimet 3 (62 Ni, 18 Cr, 18 Mo)
	Hastelloy C (62 Ni, 17 Cr, 15 Mo)
	18-8 Mo stainless steel (passive)
	18-8 stainless steel (passive)
	Chromium stainless steel 11-30% Cr (passive)
	Inconel (passive) (80 Ni, 13 Cr, 7 Fe)
	Nickel (passive)
	Silver solder
	Monel (70 Ni, 30 Cu)
	Cupronickels (60-90 Cu, 40-10 Ni)
	Bronzes (Cu-Sn)
	Copper
	Brasses (Cu-Zn)
	Chlorimet 2 (66 Ni, 32 Mo, 1 Fe)
	Hastelloy B (60 Ni, 30 Mo, 6 Fe, 1 Mn)
	Inconel (active)
	Nickel (active)
	Tin
	Lead
	Lead-tin solders
	18-8 Mo stainless steel (active)
	18-8 stainless steel (active)
	Ni-Resist (high Ni cast iron)
	Chromium stainless steel, 13% Cr (active)
	Cast iron
↓ Active or anodic	Steel or iron
	2024 aluminum (4.5 Cu, 1.5 Mg, 0.6 Mn)
	Cadmium
	Commercially pure aluminum (1100)
	Zinc
	Magnesium and magnesium alloys

Gambar 2.3 Deret Galvanik dari beberapa logam dan paduan dalam air laut (Trethewey & Chamberlain, 1991)



	Metal-metal ion equilibrium (unit activity)	Electrode potential vs. normal hydrogen electrode at 25°C, volts
↑ Noble or cathodic	Au-Au ⁺ ³	+ 1.498
	Pt-Pt ⁺ ²	+ 1.2
	Pd-Pd ⁺ ²	+ 0.987
	Ag-Ag ⁺	+ 0.799
	Hg-Hg ₂ ⁺ ²	+ 0.788
	Cu-Cu ⁺ ²	+ 0.337
	H ₂ -H ⁺	0.000
↓ Active or anodic	Pb-Pb ⁺ ²	- 0.126
	Sn-Sn ⁺ ²	- 0.136
	Ni-Ni ⁺ ²	- 0.250
	Co-Co ⁺ ²	- 0.277
	Cd-Cd ⁺ ²	- 0.403
	Fe-Fe ⁺ ²	- 0.440
	Cr-Cr ⁺ ³	- 0.744
	Zn-Zn ⁺ ²	- 0.763
	Al-Al ⁺ ³	- 1.662
	Mg-Mg ⁺ ²	- 2.363
	Na-Na ⁺	- 2.714
	K-K ⁺	- 2.925

Gambar 2.4 Deret EMF dalam air laut (Trethewey & Chamberlain, 1991)



2.9 Rotating Cylinder Electrode (RCE)

Rotating Cylinder Electrode (RCE) merupakan alat yang dapat memutar sampel logam yang tercelup ke dalam fluida dengan kecepatan putar yang disesuaikan dengan keadaan kecepatan aliran fluida di dalam pipa (PINE, 2006). Metode RCE digunakan untuk menentukan laju korosi dalam skala laboratorium. Metode ini lebih efektif dalam hal penginstalan serta penggunaan yang lebih praktis (Gabe, 1998)



(a)



(b)

Gambar 2.5 (a) *Rotating Cylinder Electrode* (b) *Pine AFMSRX Electrode Rotator* (PINE, 2006)



Gambar 2.5 merupakan rangkaian RCE, satu rangkaian RCE terdiri dari 3 bagian. Bagian atas terdiri dari beberapa komponen, antara lain motor dan poros yang dibungkus dengan PTFE untuk menghindari kontak dengan fluida. Bagian tengah merupakan elektroda yang berbentuk silinder. Bagian bawah adalah *stainless steel* yang dibungkus dengan teflon.

Kecepatan putar dari elektroda dapat diatur sesuai dengan kecepatan aliran fluida di dalam pipa menggunakan persamaan (PINE, 2006)

$$U_{cyl} = \omega \cdot r_{cyl} = \pi \cdot d_{cyl} \cdot (F/60) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana U_{cyl} adalah kecepatan linear fluida (m/s), ω adalah kecepatan putar (rad/s) atau F (rpm), d_{cyl} adalah diameter luar silinder (cm) dan $r_{cyl} = d_{cyl} / 2$.

PINE Research Instrumentation (2006) menggunakan fluida air sebagai elektrolit pada RCE dengan variasi kecepatan putar dari 5-4000 RPM ditunjukkan oleh tabel 2.4.



Tabel 2.4 Perhitungan hidrodinamika RCE pada air
(PINE, 2006)

Rotation Rate F (RPM)	Rotation Rate (rad/s)	Surface Velocity U_{cyl} (cm/s)	Wall Shear Stress τ_{cyl} (g/cm.s ²)	Reynolds Number* Re (unitless)
5	0,524	0,39	0,0035	66
10	1,047	0,79	0,0113	131
20	2,094	1,57	0,0366	263
50	5,236	3,93	0,1737	657
100	10,47	7,85	0,5642	1315
200	20,94	15,7	1,8332	2629
250	26,18	19,6	2,6789	3287
500	52,36	39,3	8,7039	6573
1000	104,7	78,5	28,279	13146
2000	209,4	157	91,879	25293
3000	314,2	236	183,05	39439
4000	418,9	314	298,52	52586

Aliran dibagi menjadi 3 jenis, yaitu aliran laminar, aliran turbulen, dan aliran transisi. Dari rentang kecepatan putar tersebut terdapat daerah transisi antara laminar dan turbulen berdasarkan *reynold number* (Re). Untuk klasifikasi aliran pada pipa, jika nilai Re kurang dari 2000 maka aliran tersebut laminar, jika nilai Re diantara 2000 dan 4000 maka aliran tersebut termasuk aliran transisi, dan untuk nilai Re lebih dari 4000 maka aliran tersebut aliran turbulen. Untuk klasifikasi aliran pada *Rotating Cylinder Electrode* (RCE), jika nilai Re kurang dari 200 maka aliran tersebut laminar, jika nilai Re 200 maka aliran tersebut aliran transisi, dan untuk nilai Re lebih dari 200 maka aliran tersebut turbulen. (PINE, 2006)

Karakteristik aliran fluida mempengaruhi laju korosi pada suatu material, semakin cepat kecepatan aliran fluida atau semakin

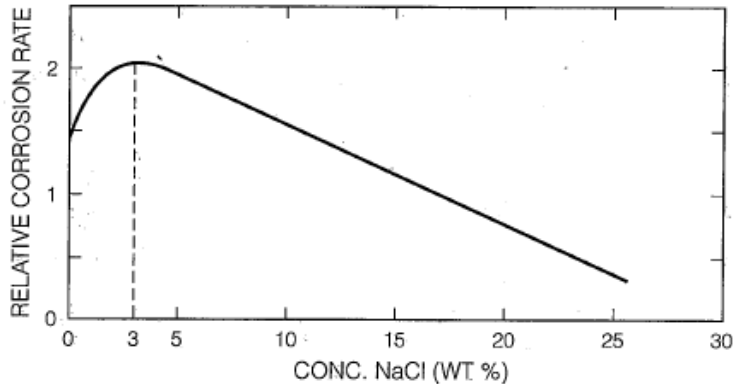


turbulen karakteristik aliran fluida maka laju korosi semakin meningkat. (Fontana, 1987)

2.10 Larutan NaCl sebagai Media Korosi

Larutan NaCl banyak digunakan pada berbagai macam pengujian korosi yang bertujuan untuk mensimulasikan logam pada kondisi yang sebenarnya pada lingkungan air laut. Korosi yang terjadi pada larutan NaCl disebabkan karena adanya anion dan kation dari larutan NaCl yang meningkatkan konduktifitas larutan tersebut. Sehingga, elektron semakin mudah untuk bergerak dari anoda menuju ke katoda.

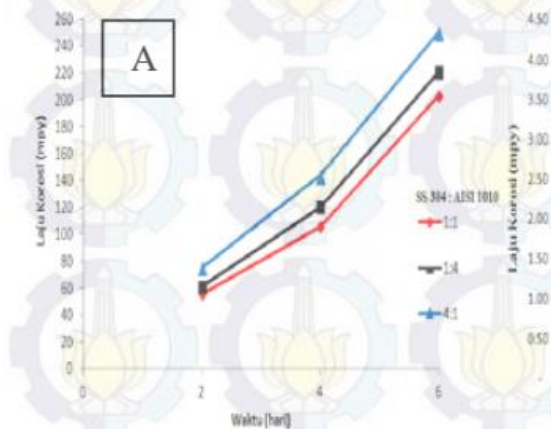
Konsentrasi NaCl juga berpengaruh terhadap kelarutan oksigen pada larutan. Semakin tinggi kelarutan NaCl, maka kelarutan oksigen semakin berkurang, sehingga mempengaruhi laju korosi yang terjadi pada logam pada larutan NaCl teraerasi. Pada larutan dengan kadar NaCl 3 % sampai dengan 3,5 % merupakan laju korosi maksimum pada larutan NaCl yang ditunjukkan gambar 2.6. Gambar tersebut menjelaskan bahwasanya laju korosi baja karbon tertinggi terjadi saat konsentrasi larutan NaCl 3-3,5%. Dalam media ini, baja bereaksi dengan ion klor dan membentuk ikatan FeCl_2 . Selain itu, baja bereaksi dengan ion hidroksil yang terdapat pada larutan dan terbentuk ikatan $\text{Fe}(\text{OH})_2$. (Jones, 1996)



Gambar 2.6 Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi pada Baja Karbon dalam Larutan Teraerasi.
(Jones, 1996)

2.11 Penelitian Sebelumnya

Nouval (2012) melakukan penelitian dengan judul Pengaruh Rasio Luasan Terhadap Perilaku Korosi *Galvanic Coupling Stainless Steel* 304 dan Baja Karbon Rendah AISI 1010 dengan metode *immerse*. Pada penelitian ini, digunakan rasio luasan antara *stainless steel* dengan baja karbon rendah yaitu 1:1, 4:1, dan 1:4. Kedua logam tersebut diikat dengan menggunakan senar agar terjadi kontak metalik pada permukaan. Larutan yang digunakan adalah NaCl 3,5% untuk mensimulasikan kondisi lingkungan air laut dengan parameter waktu perendaman 2 hari, 4 hari, dan 6 hari untuk menghitung laju korosi yang terjadi.



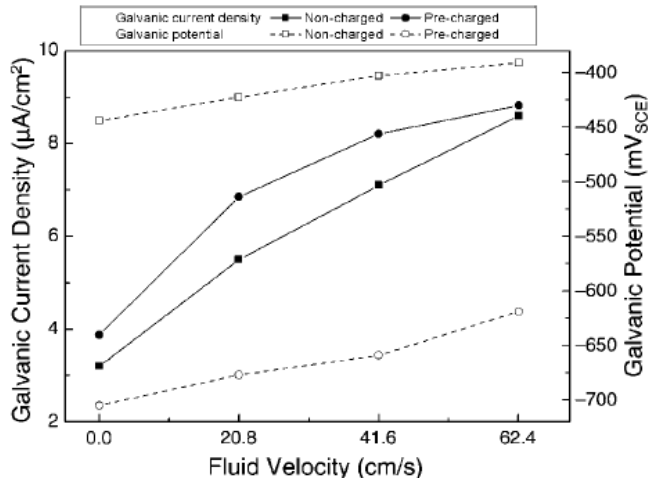
Gambar 2.7 Kurva Laju Korosi AISI 1010 setelah Perendaman 2 hari, 4 hari, dan 6 hari (Nouval, 2012)

Pada gambar 2.7 didapatkan bahwa laju korosi pada AISI 1010 mengalami kenaikan setiap harinya. Kenaikan laju korosi tertinggi pada perbandingan luasan antara SS 304 dengan AISI 1010 yaitu 4:1. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa laju korosi terkecil terdapat pada baja karbon rendah AISI 1010 dengan *stainless steel* 304 dengan rasio luasan 1:1 dan laju korosi terbesar terjadi pada perbandingan 4:1 yang menyebabkan baja semakin cepat terkorosi akibat luasan katoda yang lebih besar daripada luasan anoda tersebut. Sehingga, rasio luasan serta perbedaan potensial menurut deret emf sangat berpengaruh terhadap terjadinya korosi *galvanic coupling*.

Pada penelitian “*Effects of Flow Velocity, pH, and Temperature on Galvanic Corrosion in Alkaline-Chloride Solutions*” yang ditulis oleh Kim dkk, (2003), bahwa kecepatan aliran mempengaruhi kenaikan laju korosi. Hal ini didasarkan pada semakin tingginya kecepatan aliran maka *wall shear stress* pada permukaan logam semakin besar. Bahwasanya semakin besar nilai *wall shear stress* pada permukaan logam maka lapisan pasif pada



permukaan logam tergerus yang menyebabkan logam menjadi korosi.

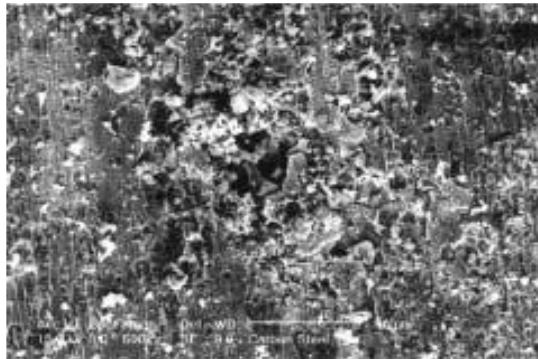


Gambar 2.8 Kurva kerapatan arus galvanik dan tegangan terhadap kecepatan aliran (Kim, Choi, Lee, & Chung, 2003)

Dari kurva tersebut didapatkan bahwa semakin meningkatnya kecepatan aliran, maka kerapatan arus dan tegangan galvanik semakin meningkat. Sedangkan pada kondisi statis, efek galvanik yang terjadi sangatlah kecil.



(a)



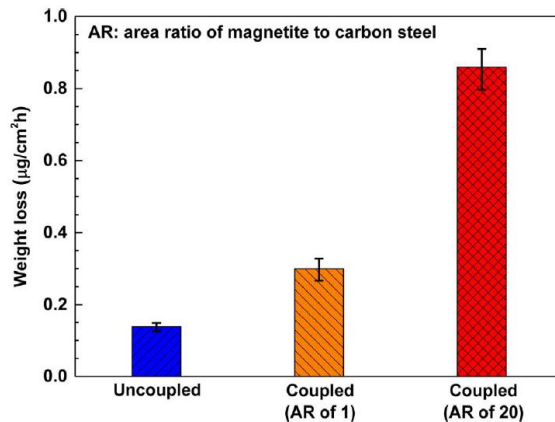
(b)

Gambar 2.9 Hasil Pengamatan SEM pada Baja Karbon setelah Pengujian Korosi Galvanik pada Laju Aliran (a) 0 m/s dan (b) 0,2 m/s (Kim, Choi, Lee, & Chung, 2003)

Hasil observasi permukaan pada baja karbon dengan menggunakan SEM didapatkan morfologi permukaan seperti tampak pada gambar 2.9. pada gambar 2.9 (a) menunjukkan pada kondisi statis permukaannya tertutupi oleh lapisan oksida yang *uniform*. Sedangkan (b) menunjukkan lapisan oksida tergerus dari permukaan akibat adanya pengaruh laju aliran.

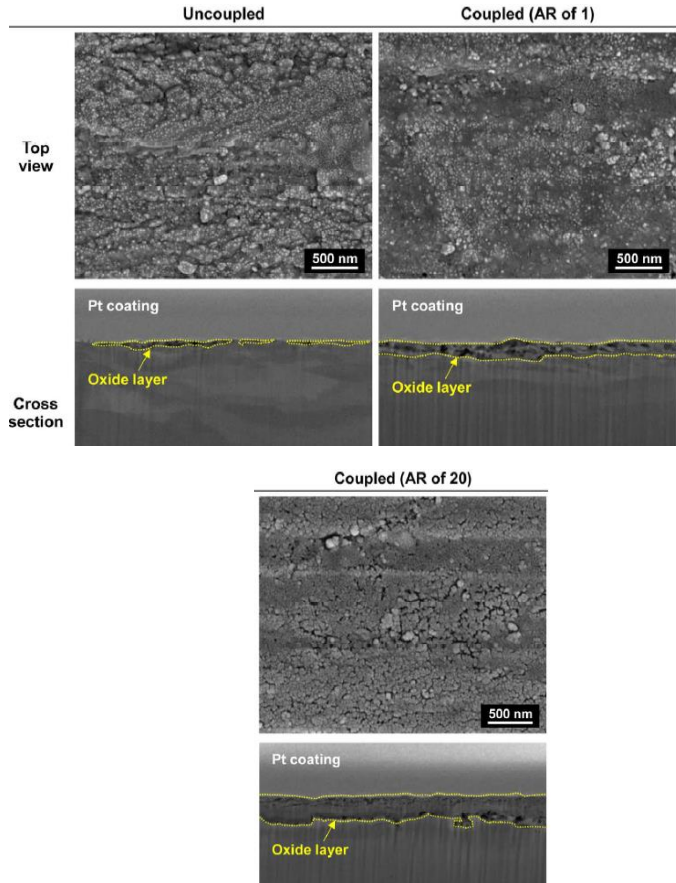


Song (2017) juga menyatakan dalam penelitiannya dengan judul “*Galvanic effect of magnetite on the corrosion behavior of carbon steel in deaerated alkaline solutions under flowing conditions*” bahwa pengaruh luasan mempengaruhi peningkatan laju korosi. Pada penelitiannya, baja karbon dipasangkan dengan magnetit pada lingkungan alkali yang mengalir.



Gambar 2.10 Perubahan Berat pada baja karbon, baja karbon dipasangkan dengan magnetit dengan rasio luasan 1, dan dengan rasio luasan 20 setelah pengujian *immersion* dengan kecepatan aliran 2 m/s pada 60° C selama 500 jam. (Song, 2017)

ditunjukkan dalam gambar 2.10, pada baja karbon yang tidak di *couple* hanya kehilangan sedikit beratnya dibandingkan pada saat di *couple* dengan magnetit yang memiliki luasan 20 kali lebih besar dari baja karbon



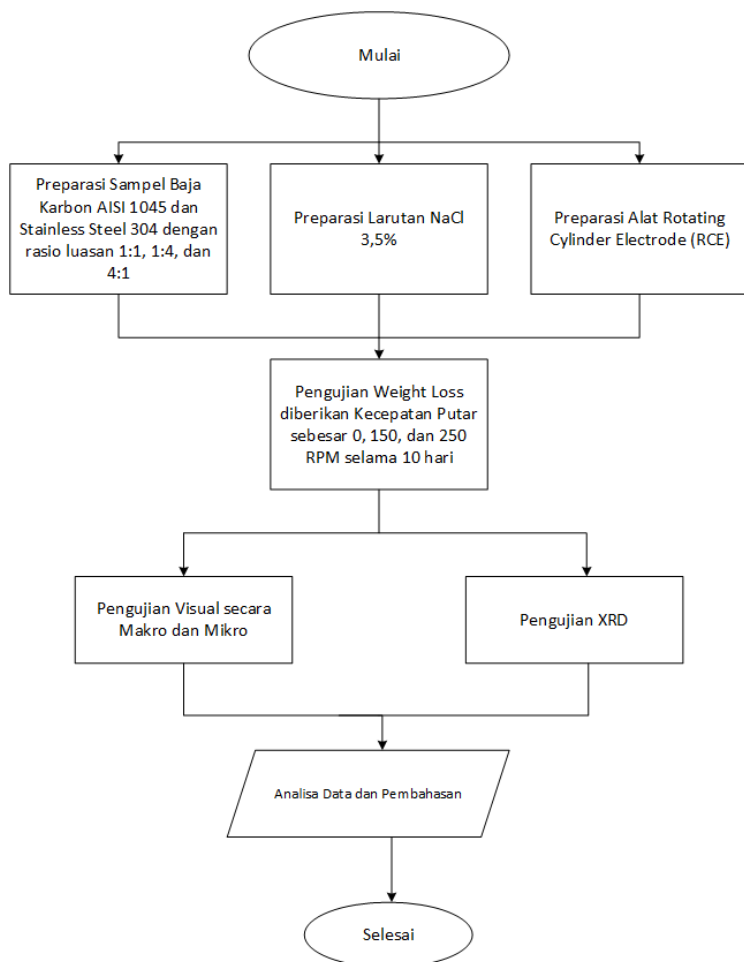
Gambar 2.11 Hasil Pengamatan SEM menunjukkan Morfologi Permukaan pada Baja Karbon (a) *uncoupled* (b) *coupled* dengan Rasio Luasan 1 dan (c) *coupled* dengan Rasio luasan 20 setelah Pengujian *immerse* dengan Kecepatan Aliran 2 m/s pada 60° C selama 500 jam (Song & Jeon, 2017)



Bentuk Morfologi hasil pengujian SEM yang terbentuk pada baja karbon yang tidak di *couple*, di *couple* dengan magnetit dengan perbandingan luasan 1, dan di *couple* dengan magnetit dengan perbandingan luasan 20 kali lebih besar daripada baja karbon ditunjukkan pada gambar 2.11. Pada gambar 2.11 (a) lapisan oksida yang terbentuk pada baja karbon yang tidak di *couple* sangat tipis dan seluruh permukaan tertutupi lapisan oksida, sedangkan pada gambar 2.11 (c) dimana magnetit memiliki luasan 20 kali lebih besar daripada baja menunjukkan lapisan oksida yang terbentuk sangat tebal dibandingkan pada gambar 2.11 (a) dan (b). Sehingga, pengaruh rasio luasan antara baja karbon dan magnetit serta adanya aliran yang mengalir dimana dalam penelitian ini aliran jenis turbulen, maka laju korosi galvanik yang terjadi semakin meningkat.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan



3.2 Metode Perancangan

Metode yang digunakan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Metode ini bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian kali ini dengan menggunakan buku, jurnal serta informasi-informasi dari situs industri sebagai patokan dalam mempelajari pengaruh laju putaran, dan rasio luasan terhadap karakteristik serta laju korosi *galvanic coupling* baja AISI 1045 dengan *stainless steel* tipe 304.

2. Eksperimen

Metode ini dilakukan dengan pengujian sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam penelitian ini adalah *weight loss*, Visual dan XRD.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Alat

Adapun alat-alat yang digunakan dari percobaan ini adalah sebagai berikut :

1. Kertas amplas
2. Satu set peralatan *Rotating Cylinder Electrode* (RCE) pada toples kaca
3. RPM meter
4. Timbangan digital
5. Gelas beaker 1000 ml
6. Gelas beaker 500 ml
7. Teflon
8. Mesin bor
9. Mata bor



3.3.2 Bahan

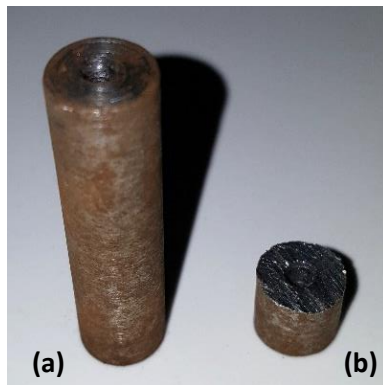
Adapun bahan-bahan yang digunakan dari percobaan ini adalah sebagai berikut :

1. Baja AISI 1045
2. *Stainless steel 304*
3. Aquades
4. Larutan NaCl 3,5%

3.3.3 Preparasi Spesimen Uji

Spesimen uji yang digunakan pada penelitian ini adalah batang baja AISI 1045 dan batang *stainless steel 304* dengan diameter 10 mm. Langkah – langkah pembuatan spesimen uji :

1. Spesimen dipotong dengan panjang 40 mm dan 10 mm seperti tampak pada gambar 3.2 (a) dan (b)
2. Spesimen uji dilubangi pada bagian tengah menggunakan bor sebagai tempat poros dinamo.
3. Kemudian, spesimen diamplas dengan kertas amplas grade 80, 120, 320, dan 500 untuk menghilangkan lapisan produk korosi yang terdapat pada permukaan.



Gambar 3.2 Bentuk dan Luasan Spesimen Uji dengan Panjang (a) 40 mm (b) 10 mm²



Gambar 3.3 Pengukuran Panjang Sampel, (a) 40 mm, (b) 10 mm

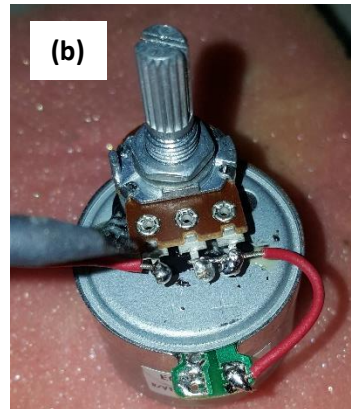
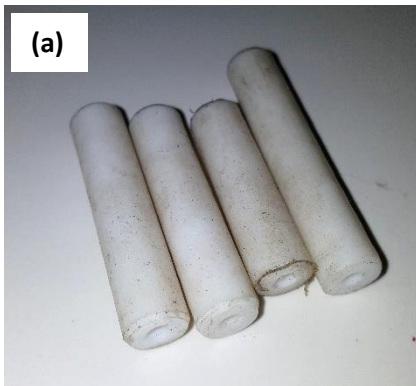
3.3.4 Preparasi Alat

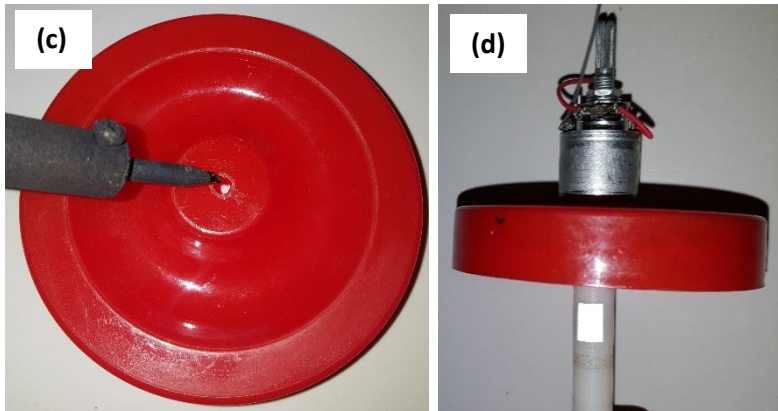
Alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah *Rotating Cylinder Electrode* (RCE). Langkah-langkah preparasi RCE adalah sebagai berikut:

1. Memasang dinamo pada bagian atas tutup toples.
2. Memasang potensiometer untuk mengatur kecepatan putar dinamo sebesar 0 RPM, 150 RPM dan 250 RPM
3. Pada poros dinamo yang dipasang teflon silinder yang di beri lubang pada porosnya agar bisa terpasang, kemudian spesimen uji dipasangkan di poros, kemudian di ujung



- poros juga diberikan teflon untuk mengunci poros sehingga putaran menjadi stabil agar spesimen tidak lepas.
4. Setelah semua terpasang, kabel dari dinamo disambungkan dengan *power supply*.
 5. Untuk mengukur kecepatan putar digunakan RPM meter agar putaran yang dihasilkan oleh dinamo sudah sesuai dengan kecepatan putar yang direncanakan yaitu 0 RPM, 150 RPM, dan 250 RPM.
 6. Setelah itu pengujian *weight loss* dapat dilakukan selama 10 hari.





Gambar 3.4 (a) Memotong Teflon, (b) Merangkai Potensio dan Memasang Kabel pada Dinamo dengan Solder, (c) Melubangi Tutup Toples dengan Solder, (d) Merangkai Dinamo dan Poros Teflon pada Tutup Toples sebagai Alat RCE.

3.3.5 Preparasi Larutan NaCl 3.5%

Pada penelitian ini, larutan elektrolit yang digunakan adalah larutan NaCl 3,5 % sebanyak 1000 ml. Langkah-langkah pembuatan larutan NaCl 3,5 % 1000 ml adalah sebagai berikut:

1. Menimbang garam NaCl sebanyak 35 gram seperti tampak pada gambar 3.5
2. Isi gelas beaker dengan aquades sampai volume 500 ml.
3. Tuangkan garam NaCl ke dalam gelas beaker.
4. Aduk larutan garam NaCl agar didapatkan larutan yang homogen dan garam NaCl dapat larut dengan sempurna.
5. Tambahkan aquades 500 ml hingga mencapai 1000 ml.
6. Larutan siap digunakan.



Gambar 3.5 Penimbangan berat NaCl untuk pembuatan larutan

3.4 Pengujian

3.4.1 Pengujian *Weight Loss*

Pengujian *weight loss* dilakukan untuk menghitung laju korosi dari data berat awal spesimen dengan menggunakan timbangan digital dan berat akhir spesimen setelah mengalami perlakuan selama 10 hari, dari data tersebut didapatkan perbedaan berat awal dan berat akhir untuk dilakukan perhitungan laju korosi (mm/y) dari material tersebut.

Langkah-langkah untuk melakukan pengujian *weight loss* yaitu:

1. Mempersiapkan sampel baja AISI 1045 yang telah diamplas untuk menghilangkan lapisan oksida yang menutupi permukaan sampel.
2. Menimbang berat awal sampel baja AISI 1045 dengan menggunakan timbangan digital.
3. Memasang sampel baja AISI 1045 dan *stainless steel* 304 pada poros dinamo.
4. Memasang Teflon pada poros dinamo sebagai pengunci sampel baja AISI 1045 dan *stainless steel* 304 agar terjadi kontak *galvanic coupling*.



5. Mengisi toples dengan menggunakan larutan NaCl 3,5 % dan kemudian ditutup.
6. Mengukur kecepatan RCE dengan RPM Meter agar sesuai dengan kecepatan yang telah direncanakan yaitu 0 RPM, 150 RPM dan 250 RPM
7. Menyalakan alat RCE selama 10 hari dan kemudian dilakukan pembersihan spesimen dari produk korosi
8. Melakukan penimbangan berat akhir sampel baja AISI 1045 dengan menggunakan timbangan digital.

Tabel 3.1 Rancangan Data Hasil Uji *Weight Loss*

Kecepatan Putar (rpm)	Rasio Luasan (AISI 1045 : SS304)	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/yr)
0	1:1				
	1:4				
	4:1				
150	1:1				
	1:4				
	4:1				
250	1:1				
	1:4				
	4:1				



3.4.2 Pengujian Visual secara Makro dan Mikro

Pengujian visual dilakukan dengan menggunakan kamera digital untuk mengetahui tampilan atau bentuk secara makro dan mikroskop metalurgi Olympus BX51M-RF dengan perbesaran 50x digunakan untuk mendapatkan profil mikro.



(a)

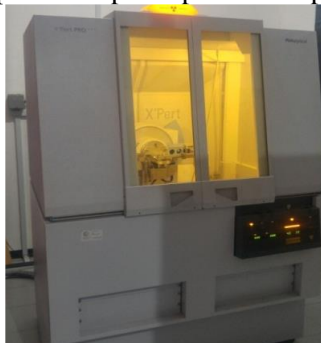


(b)

Gambar 3.6 Instrumen pengamatan visual secara makro (a) kamera digital dan secara mikro (b) mikroskop metalurgi Olympus BX51M-RF

3.4.3 Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk mengidentifikasi senyawa produk korosi yang terbentuk pada sampel baja AISI 1045 dengan rasio luasan 1:4 pada kecepatan putar 250 rpm.



Gambar 3.7 Instrumen pengujian XRD Panalytical.



Tabel 3.2 Rancangan Pengujian Seluruhnya

kecepatan Putar (rpm)	Rasio Luasan (Baja 1045 : SS 304)	Uji <i>Weight Loss</i>	Uji Visual	Uji XRD
0	1:1	v	v	-
	1:4	v	v	-
	4:1	v	v	-
150	1:1	v	v	-
	1:4	v	v	-
	4:1	v	v	-
250	1:1	v	v	-
	1:4	v	v	v
	4:1	v	v	-

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1. Perhitungan Bilangan Reynold

Perhitungan bilangan Reynold dilakukan untuk mengetahui jenis atau profil aliran yang terbentuk pada saat pengujian RCE yang dilakukan. Pada penelitian ini, sampel uji diberi kecepatan putar sebesar 0 RPM, 150 RPM, dan 250 RPM. Kemudian, dilakukan perhitungan bilangan Reynold

Tabel 4.1 Nilai bilangan Reynold pada tiap kecepatan putar

Kecepatan Putar (RPM)	Kecepatan Putar (cm/s)	Bilangan Reynold
0	0	0
150	7,854	940,311
250	13,089	1567,186

Dari hasil perhitungan, didapatkan bahwa aliran yang terbentuk pada penelitian ini adalah aliran turbulen. Aliran tersebut dikatakan turbulen karena memiliki bilangan Reynold lebih dari 200, mengacu pada PINE (2006) mengenai klasifikasi aliran pada RCE. Nilai bilangan reynold pada kecepatan putar 150 RPM sebesar 940,311 dan 250 RPM sebesar 1567,186 sesuai pada tabel 4.1. (PINE, 2006)

4.1.2. Pengujian *Weight Loss*

Pengujian *weight loss* dilakukan selama sepuluh hari dengan parameter uji kecepatan putar dan rasio luasan. Hasil dari pengujian *weight loss* ditunjukkan pada tabel 4.2



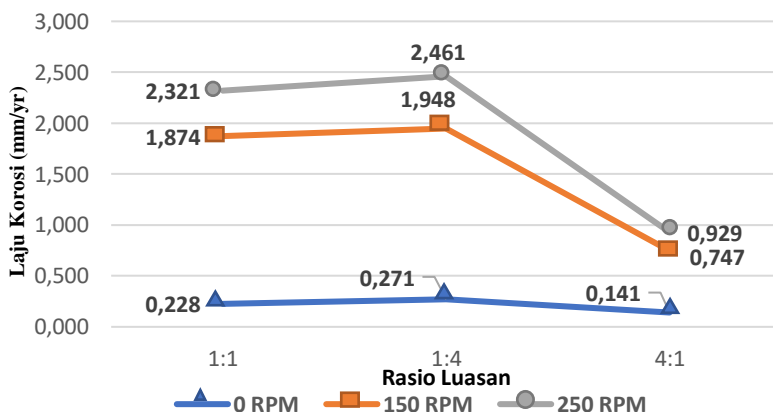
Tabel 4.2 Hasil Pehitungan Laju Korosi Baja AISI 1045
setelah pengujian *weight loss*

RPM	Rasio AISI 1045 : SS304	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/yr)	Rata-rata (mm/yr)
0	1:1	0,012	0,206	0,228
		0,016	0,259	
		0,014	0,218	
	1:4	0,019	0,269	0,271
		0,019	0,313	
		0,015	0,231	
	4:1	0,036	0,138	0,141
		0,045	0,172	
		0,030	0,112	
150	1:1	0,121	1,766	1,874
		0,125	1,928	
		0,138	1,929	
	1:4	0,125	2,088	1,947
		0,108	1,953	
		0,095	1,801	
	4:1	0,193	0,767	0,747
		0,193	0,747	
		0,183	0,727	



250	1:1	0,149	2,920	2,321
		0,121	2,260	
		0,136	1,785	
	1:4	0,173	2,771	2,461
		0,154	2,780	
		0,121	1,831	
	4:1	0,239	0,932	0,929
		0,224	0,878	
		0,251	0,976	

Adapun grafik laju korosi baja terhadap kecepatan putar dan perbandingan rasio luasan ditunjukkan oleh gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Pengaruh Rasio Luasan Baja AISI 1045 dengan SS304 pada kecepatan putar 0, 150, dan 250 rpm.

Tabel 4.3 menunjukkan persentase kenaikan dan penurunan laju korosi baja terhadap kenaikan rasio luasan sebagai berikut.



Tabel 4.3 Persentase kenaikan dan penurunan laju korosi terhadap rasio luasan 1:1

RPM	Rasio AISI 1045 : SS304	Rata-rata Laju Korosi (mm/yr)	% Kenaikan/Penurunan Terhadap Rasio Luasan 1:1 (%)
0	1:1	0,228	-
	1:4	0,271	18,736
	4:1	0,141	-38,219
150	1:1	1,874	-
	1:4	1,947	3,917
	4:1	0,747	-60,146
250	1:1	2,321	-
	1:4	2,461	5,997
	4:1	0,929	-59,984
Catatan : simbol negatif (-) menandakan bahwa laju korosi mengalami penurunan			

Sampel uji dengan kecepatan putar 0 rpm didapatkan hasil nilai laju korosi baja pada rasio luasan 1:1, 1:4, dan 4:1 masing-masing sebesar 0,228 mm/yr, 0,271 mm/yr, dan 0,141 mm/yr. Pada kecepatan putar 150 rpm didapatkan nilai masing-masing sebesar 1,874 mm/yr, 1,947 mm/yr, dan 0,747 mm/yr. Saat kecepatan putar 250 rpm nilai laju korosi baja masing-masing sebesar 2,321 mm/yr, 2,461 mm/yr, dan 0,929 mm/yr.

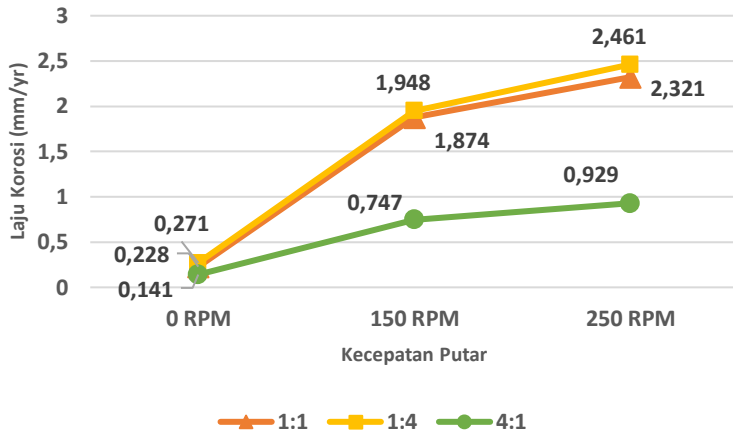
Gambar 4.1 menunjukkan grafik laju korosi baja terhadap kecepatan putar dan rasio luasan didapatkan bahwasanya laju korosi semakin meningkat seiring penurunan luasan baja terhadap *stainless steel* dan laju korosi menurun seiring kenaikan luasan baja terhadap *stainless steel*. Tabel 4.3 menunjukkan persentase kenaikan dan penurunan laju korosi terhadap rasio luasan 1:1. Laju korosi pada 0 rpm dengan rasio luasan 1:1 sebesar 0,228 mm/yr. Saat luasan baja 4 kali lebih kecil daripada *stainless steel* nilai laju korosinya meningkat menjadi 0,271, mengalami kenaikan sebesar



18,736%. Saat luasan baja 4 kali lebih besar, laju korosi baja mengalami penurunan sebesar 38,219%. Pada kecepatan putar 150 rpm, laju korosi pada rasio luasan 1:1 sebesar 1,874 mm/yr. Laju korosi baja mengalami kenaikan pada rasio luasan 1:4 sebesar 3,917 % dan mengalami penurunan sebesar 60,146% saat rasio luasan 4:1. Pada kecepatan putar 250 rpm, laju korosi baja pada rasio luasan 1:1 sebesar 2,321 mm/yr. Saat rasio luasan 1:4 mengalami kenaikan laju korosi sebesar 5,997% dan penurunan laju korosi sebesar 59,984% saat rasio luasan 4:1.

Tabel 4.4 Persentase kenaikan laju korosi terhadap kecepatan putar 0 RPM

Rasio Luasan AISI 1045 : SS304	RPM	Rata-rata laju korosi (mm/yr)	% Kenaikan Terhadap kecepatan putar 0 RPM
1:1	0	0,228	-
	150	1,874	721,930
	250	2,321	917,982
1:4	0	0,271	-
	150	1,948	618,819
	250	2,461	808,118
4:1	0	0,141	-
	150	0,747	429,787
	250	0,929	558,865



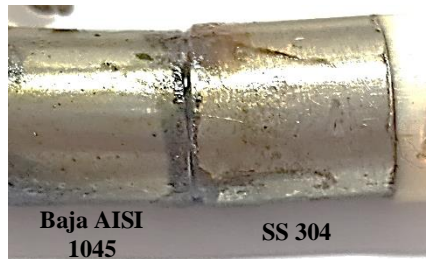
Gambar 4.2 Grafik Laju korosi baja terhadap pengaruh rasio luasan pada kecepatan putar 0, 150, dan 250 rpm.

Tabel 4.4 menunjukkan persentase kenaikan laju korosi pada baja terhadap kecepatan putar 0 rpm. Didapatkan bahwa pada rasio luasan 1:1, laju korosi mengalami kenaikan sebesar 721,930% dari 0 rpm menuju 150 rpm. Pada kenaikan kecepatan putar hingga 250 rpm laju korosi baja mengalami kenaikan sebesar 917,982%. Hal yang sama juga terjadi pada rasio luasan 1:4 bahwasanya laju korosi mengalami kenaikan sebesar 618,819% pada 150 rpm dan 808,118% pada 250 rpm. Pada rasio luasan 4:1 juga mengalami kenaikan sebesar 429,787% pada 150 rpm dan 558,865%. Grafik dalam gambar 4.2 menunjukkan bahwa tren laju korosi baja meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan putar pada semua parameter rasio luasan.



4.1.3. Pengujian Visual secara Makro

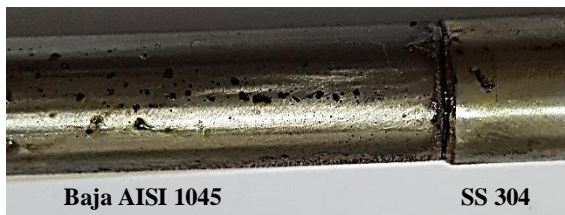
Pengujian visual secara makro dilakukan setelah pengujian RCE selama 10 hari, didapatkan foto makro dari sampel uji seperti berikut.



(a)



(b)

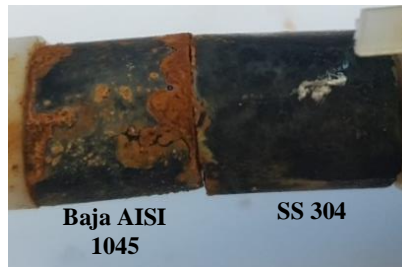


(c)

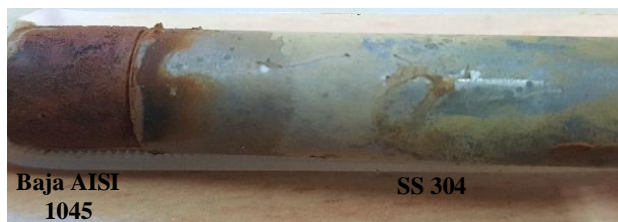
Gambar 4.3 Hasil Pengamatan Visual secara Makro Baja AISI 1045 di *couple* dengan SS304 Rasio Luasan (a) 1:1, (b) 1:4 dan (c) 4:1 pada Kecepatan 0 RPM



Tampak pada gambar 4.3 bagian yang berwarna hitam pada bagian *coupling* antara baja AISI 1045 dengan SS304 merupakan produk korosi, bahwasanya pada sampel uji dengan rasio luasan 1:1, baja mengalami penyerangan korosi pada bagian *coupling* sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 4.2 (a). Produk korosi pada sampel uji dengan rasio luasan 1:4 yang ditunjukkan dalam gambar 4.2 (b) lebih banyak dibandingkan dengan gambar 4.2 (a). Gambar 4.2 (c) merupakan sampel uji dengan rasio luasan 4:1, produk korosi yang terbentuk pada baja di bagian *coupling* lebih sedikit daripada sampel dengan rasio luasan 1:1 dan 1:4.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.4 Hasil Pengamatan Visual secara Makro Baja AISI 1045 di *couple* dengan SS304 Rasio Luasan (a) 1:1, (b) 1:4 dan (c) 4:1 pada Kecepatan 150 RPM

Saat sampel uji diberi kecepatan putar 150 rpm, terlihat perbedaan dengan sampel uji tanpa diberi kecepatan putar yang ditunjukkan pada gambar 4.4. Dalam gambar terlihat lapisan berwarna merah kecoklatan yang menutupi permukaan baja merupakan produk korosi. Terlihat pada gambar 4.4 (a) bahwa produk korosi menutupi sekitar 10% permukaan baja. Gambar 4.4 (b) menunjukkan produk korosi menutupi sekitar 90% seluruh permukaan baja. Pada sampel uji dengan rasio luasan 4:1, produk korosi menutupi sekitar 20% permukaan baja seperti tampak pada gambar 4.3 (c). Pada kecepatan putar 150 rpm, produk korosi yang terbentuk cenderung lebih tebal dan menutupi permukaan baja dibandingkan dengan produk korosi pada sampel uji dengan kecepatan putar 0 rpm.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.5 Hasil Pengamatan Visual secara Makro Baja AISI 1045 di *couple* dengan SS304 Rasio Luasan (a) 1:1, (b) 1:4 dan (c) 4:1 pada Kecepatan 250 RPM

Pada kecepatan putar 250 rpm didapatkan hasil bahwasanya produk korosi yang menutupi permukaan baja lebih banyak dibandingkan dengan sampel uji pada kecepatan putar 150 rpm. Hal ini dibuktikan pada gambar 4.5 (a) dan (b) bahwasanya produk korosi yang terbentuk cenderung menutupi sekitar 95% seluruh permukaan baja. Tampak dalam gambar 4.5 (c) produk korosi yang terbentuk menutupi sekitar 30% permukaan baja dekat *coupling*. Dalam gambar 4.4 dan 4.5 terlihat bahwasanya permukaan *stainless steel* tertutupi oleh lapisan berwarna kecoklatan. Endapan ini diduga produk korosi dari baja yang terlepas akibat pengaruh dari aliran, sehingga produk korosi dari baja terlarut dan menempel pada permukaan *stainless steel*. Hal ini dibuktikan dengan kondisi larutan yang mengalami perubahan setelah dilakukan pengujian ditunjukkan pada gambar 4.6.



(a)

(b)

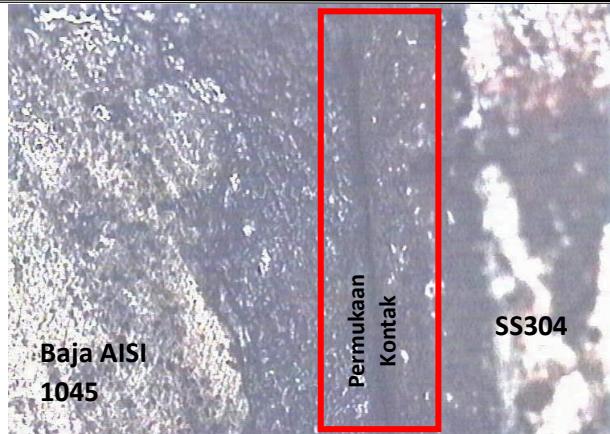
(c)

Gambar 4.6 Kondisi Larutan setelah Pengujian RCE selama 10 Hari, (a) 0 rpm, (b) 150 rpm, dan (c) 250 rpm.

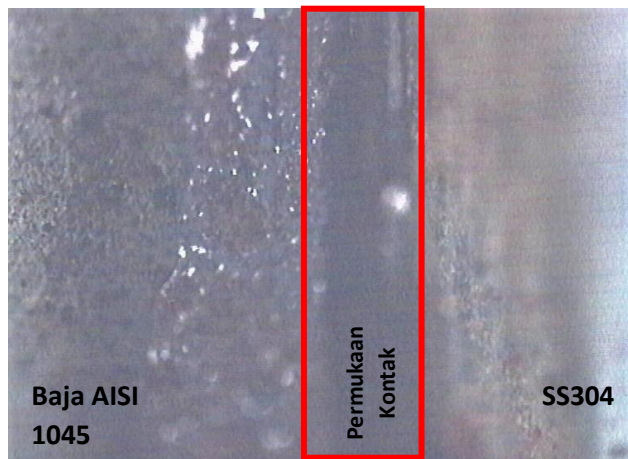
Setelah dilakukan rangkaian pengujian RCE selama 10 hari terjadi perubahan pada kondisi larutan yang digunakan. Gambar 4.6 (a) merupakan larutan NaCl pada 0 rpm. Terlihat bahwasanya kondisi larutan sedikit jernih dan terdapat sedikit endapan pada dasar toples. Ketika diberi kecepatan putar sebesar 150 rpm, kondisi larutan tampak lebih keruh dibandingkan dengan kondisi larutan ketika 0 rpm yang ditunjukkan gambar 4.6 (b). Kondisi larutan yang paling keruh ditunjukkan pada gambar 4.6 (c) ketika kecepatan putar 250 rpm, terlihat bahwasanya juga terdapat lebih banyak endapan yang terbentuk dibandingkan ketika 0 rpm dan 150 rpm.

4.1.4. Pengujian Visual dengan Mikroskop Metalurgi

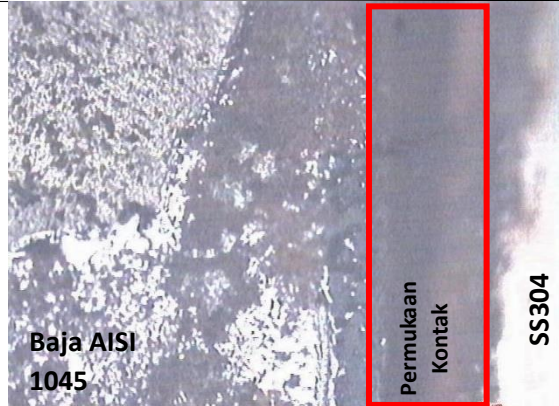
Pengujian visual secara mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop metalurgi Olympus BX51M-RF. Didapatkan gambar dari semua sampel uji dengan perbesaran 50x seperti berikut.



(a)



(b)



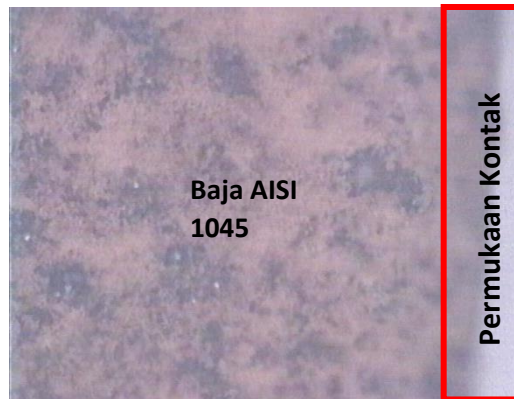
(c)

Gambar 4.7 Morfologi Produk Korosi Baja AISI 1045 dengan perbesaran 50x pada 0 rpm, (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1

Gambar 4.7 merupakan morfologi produk korosi pada permukaan baja AISI 1045 tanpa diberi kecepatan putar. Garis vertikal dalam gambar menunjukkan kontak permukaan (*coupling*) antara baja AISI 1045 dengan SS304. Terlihat bahwasanya di sekitar *coupling* terdapat produk korosi yang menutupi permukaan baja yang ditunjukkan pada semua sampel dalam gambar. Secara umum, produk korosi yang terbentuk pada sampel uji tanpa kecepatan putar menumpuk di sekitar *coupling*. Produk korosi paling banyak ditunjukkan pada gambar 4.7 (b) ketika rasio luasan 1:4.



(a)



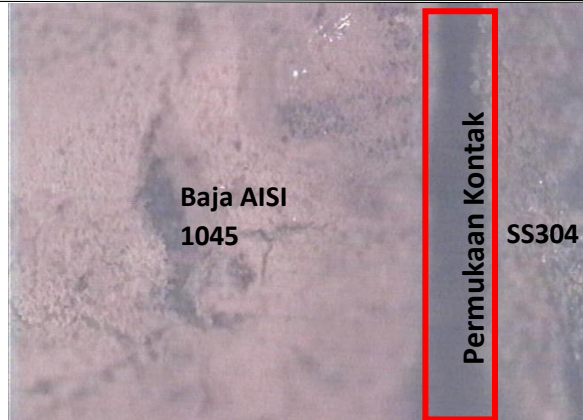
(b)



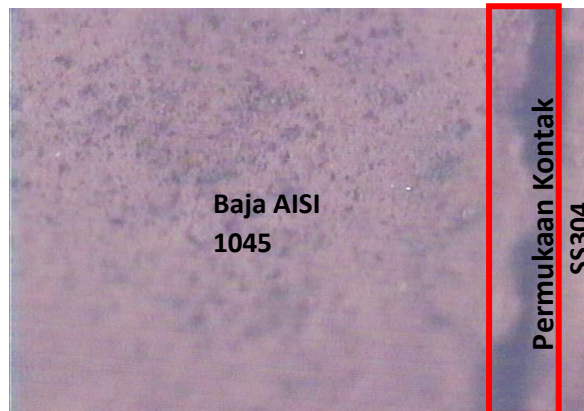
(c)

Gambar 4.8 Morfologi Produk Korosi Baja AISI 1045 dengan perbesaran 50x pada 150 rpm, (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1

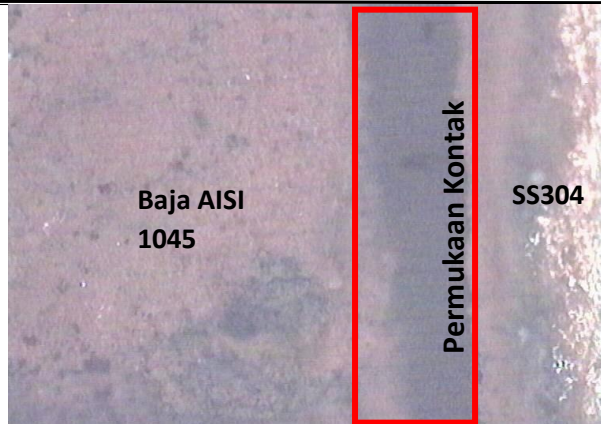
Morfologi permukaan produk korosi sampel uji dengan kecepatan putar 150 rpm ditunjukkan oleh gambar 4.8. Terlihat pada gambar bahwa permukaan baja tertutupi oleh produk korosi yang lebih tebal daripada gambar 4.7. Pada sampel ini, produk korosi yang terbentuk cenderung lebih banyak dan lebih tebal dibandingkan pada sampel uji tanpa diberi kecepatan putar.



(a)



(b)



(c)

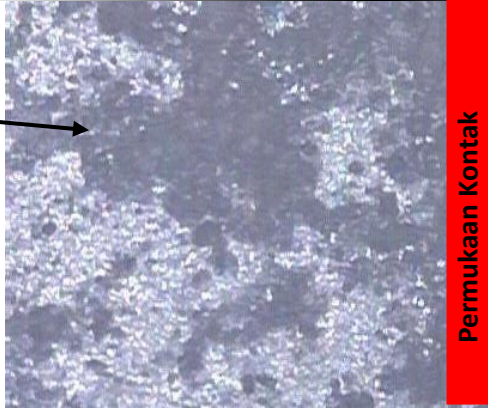
Gambar 4.9 Morfologi Produk Korosi Baja AISI 1045 dengan perbesaran 50x pada 250 rpm, (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1

Hal serupa juga ditunjukkan pada gambar 4.9 bahwasanya pada kecepatan putar 250 rpm, produk korosi yang terbentuk menutupi sekitar 95% permukaan baja pada sampel uji 1:1 dan 1:4, ketika rasio luasan 4:1 produk korosi menutupi sekitar 30% permukaan baja. Dalam gambar terlihat bahwa produk korosi yang terbentuk pada sampel uji ini lebih halus serta merata pada seluruh permukaan baja dibandingkan dengan sampel uji tanpa diberi kecepatan putar.

Berikut merupakan morfologi permukaan baja setelah dibersihkan dari produk korosi yang menempel di permukaan sekitar *coupling*.



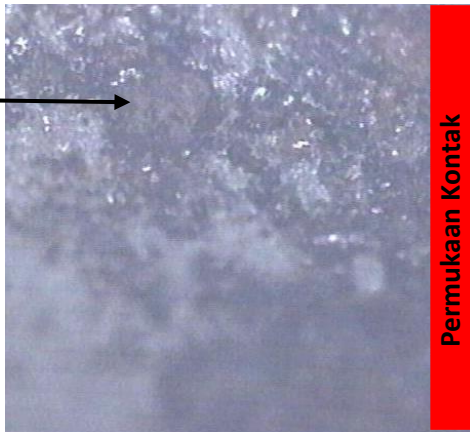
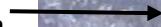
Daerah
Penyerangan
Korosi



Permukaan Kontak

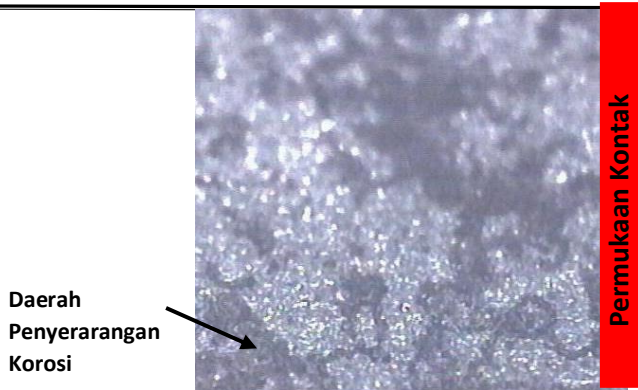
(a)

Daerah
Penyerangan
Korosi



Permukaan Kontak

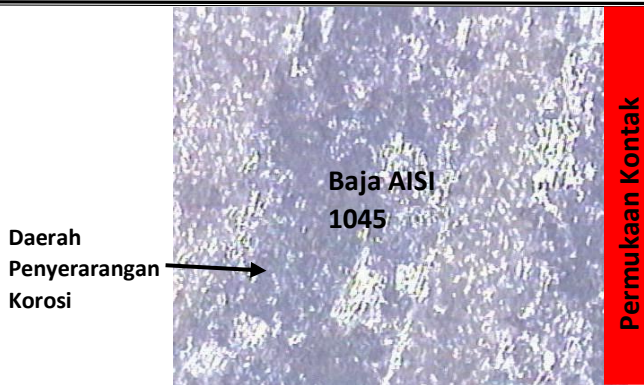
(b)



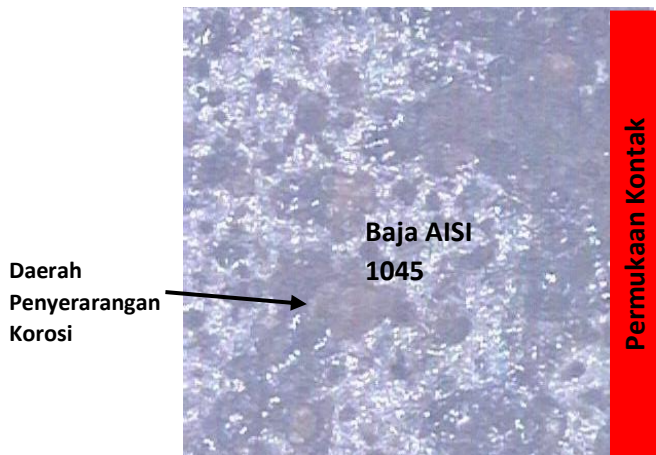
(c)

Gambar 4.10 Morfologi Permukaan Baja AISI 1045 dengan perbesaran 50x pada 0 rpm, (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1

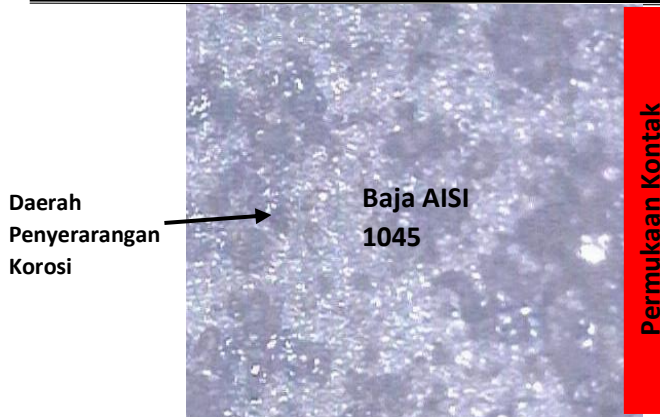
Gambar 4.10 menunjukkan morfologi permukaan baja pada kecepatan putar 0 rpm setelah dibersihkan dari produk korosi yang menempel pada permukaan baja. Terlihat pada gambar bahwasanya terlihat pola jejak penyerangan korosi pada permukaan yang ditunjukkan pada daerah berwarna hitam. Pada semua sampel tanpa diberi kecepatan putar memiliki pola penyerangan yang utuh dan menumpuk di sekitar *coupling*.



(a)



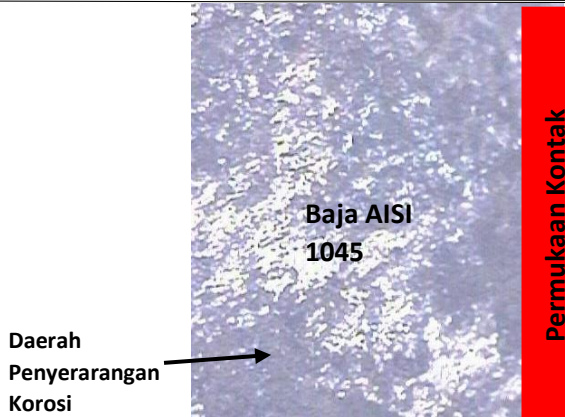
(b)



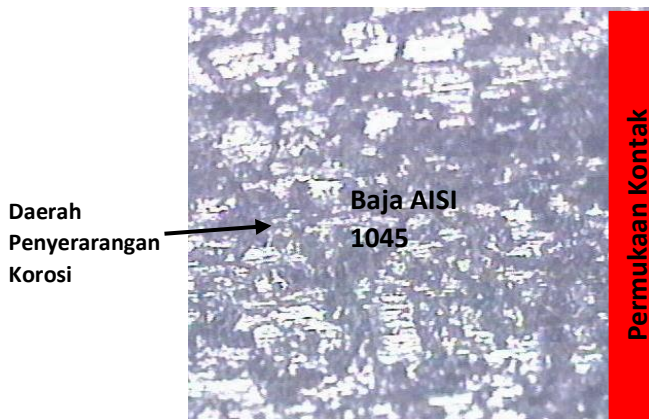
(c)

Gambar 4.11 Morfologi Permukaan Baja AISI 1045 dengan perbesaran 50x pada 150 rpm, (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1

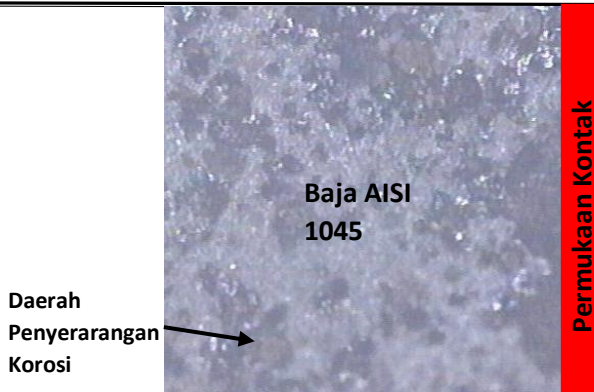
Pada kecepatan putar 150 rpm pola yang terbentuk berbeda dengan sampel uji pada kecepatan putar 0 rpm, seperti tampak pada gambar 4.11. Pada gambar ditunjukkan bahwa permukaan baja memiliki pola jejak penyerangan korosi yang tidak utuh dan cenderung menyebar di sekitar *coupling*.



(a)



(b)



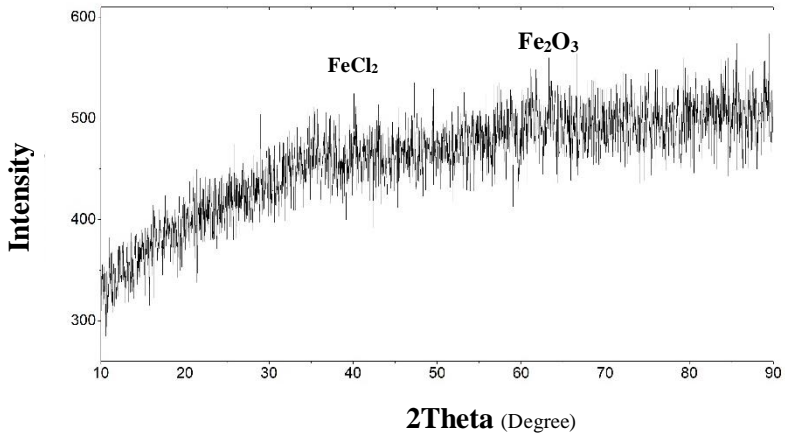
(c)

Gambar 4.12 Morfologi Permukaan Baja AISI 1045 dengan perbesaran 50x pada 250 rpm, (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1

Pada kecepatan putar 250 rpm ditunjukkan pola yang serupa dengan sampel uji pada kecepatan putar 150 rpm yang ditunjukkan pada gambar 4.12. Pola yang dimiliki cenderung tidak utuh dan tersebar di sekitar sambungan *coupling*.

4.1.5. Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk mengidentifikasi senyawa produk korosi dengan sampel uji yang diberi kecepatan putar 250 rpm pada rasio luasan 1:4. Analisa hasil dari pengujian XRD menggunakan software match! 3 untuk mengidentifikasi senyawa produk korosi yang terbentuk pada baja akibat pengaruh *coupling* dan kecepatan putar.



Gambar 4.13 Hasil pengujian XRD baja AISI 1045 pada kecepatan putar 250 RPM dengan rasio luasan 1:4

Dari hasil pengolahan data XRD dengan match! 3 didapatkan data yang ditunjukkan oleh gambar 4.13. *Peak* tertinggi menunjukkan senyawa Fe_2O_3 , senyawa ini merupakan produk korosi yang terbentuk pada baja. Adanya kecepatan putar membuat kandungan oksigen terlarut melimpah yang mengakibatkan baja mengalami reaksi oksidasi dan membentuk senyawa Fe_2O_3 . Pada hasil pengujian XRD ini juga teridentifikasi terbentuknya senyawa FeCl_2 yang menandakan bahwa baja mengalami reaksi dengan ion klor dari lingkungan NaCl .

4.2 Pembahasan

Tabel 4.1 menunjukkan nilai bilangan Reynold pada kecepatan putar 150 rpm dan 250 rpm masing-masing sebesar 940,311 dan 1567,186. Berdasarkan PINE (2006), jika bilangan Reynold lebih dari 200 maka aliran tersebut termasuk jenis aliran turbulen.



Grafik hasil pengujian *weight loss* ditunjukkan pada gambar 4.1 bahwasanya laju korosi mengalami kenaikan seiring meningkatnya kecepatan putar dan penurunan luasan baja. Pada sampel uji tanpa kecepatan putar dengan rasio luasan 1:4 mengalami kenaikan laju korosi sebesar 18,73% terhadap sampel uji dengan rasio luasan 1:1, namun saat rasio luasan 4:1, laju korosi mengalami penurunan sebesar 38,22%. Pada pengujian dengan kecepatan putar 150 rpm, sampel uji dengan rasio 1:4 mengalami kenaikan laju korosi sebesar 3,92% dan mengalami penurunan sebesar 60,14% saat rasio luasan 4:1. Sedangkan pada kecepatan putar 250 rpm, laju korosi mengalami kenaikan sebesar 5,99% dan penurunan sebesar 59,98%.

Ketika rasio luasan 4:1, laju korosi cenderung menurun dan berbeda jauh dibandingkan dengan laju korosi saat rasio luasan 1:1 dan 1:4. Luasan katoda yang lebih kecil menyebabkan jumlah elektron yang dapat ditampung terbatas, sehingga proses pelepasan elektron pada anoda terhambat karena luasan katoda masih terisi oleh elektron yang belum bereaksi. Sehingga, reaksi oksidasi pada anoda melambat yang diikuti dengan penurunan laju korosi.

Laju korosi baja mengalami kenaikan yang sangat signifikan terhadap kecepatan putar ditunjukkan pada tabel 4.4. Pada rasio luasan 1:1, laju korosi baja mengalami kenaikan sebesar 721,930% dari 0 rpm menuju 150 rpm dan pada kecepatan putar 250 rpm, laju korosi baja meningkat hingga 917,982%. Hal yang sama juga terjadi ketika rasio luasan 1:4 bahwasanya laju korosi mengalami kenaikan sebesar 618,819% pada 150 rpm dan 808,118% pada 250 rpm. Pada rasio luasan 4:1, laju korosi juga mengalami kenaikan sebesar 429,787% pada 150 rpm dan 558,865%.

Hasil dari pengamatan visual secara makro pada gambar 4.3 hingga 4.5 menunjukkan bahwa semua sampel uji mengalami penyerangan korosi. Pada sampel dengan kecepatan putar 150 rpm dan 250 rpm produk korosi yang terbentuk lebih banyak dan



cenderung menutupi permukaan baja daripada sampel uji tanpa diberi kecepatan putar sesuai dengan gambar 4.4 dan 4.5. Dalam gambar tersebut terlihat bahwa permukaan *stainless steel* juga tertutupi oleh lapisan serupa yang menutupi permukaan baja. Lapisan ini diduga terbentuk akibat pengaruh dari aliran turbulen pada pengujian yang dibuktikan dengan adanya perubahan pada kondisi larutan ditunjukkan gambar 4.6. Kondisi larutan paling keruh ditunjukkan ketika kecepatan 250 rpm dan memiliki endapan paling banyak dibandingkan pada 0 rpm dan 150 rpm. Aliran turbulen dengan kecepatan tinggi menyebabkan baja mengalami penyerangan korosi yang kemudian terbentuk produk korosi pada permukaan baja. Selanjutnya aliran menyebabkan produk korosi terlepas dari permukaan baja sehingga permukaan baja terekspos dengan larutan dan kembali terjadi penyerangan korosi yang diikuti pembentukan ulang produk korosi pada permukaan baja (Fontana, 1987).

Pada pengamatan visual secara mikro pada semua sampel baja dengan perbesaran 50x. Pada sampel uji tanpa diberi kecepatan putar, produk korosi yang terbentuk cenderung menumpuk di sekitar *coupling* antara baja dengan *stainless steel*, sedangkan pada sampel uji dengan kecepatan putar 150 rpm, permukaan baja tertutupi oleh produk korosi. Pada kecepatan putar 250 rpm, produk korosi yang menutupi permukaan baja cenderung lebih tebal dan lebih banyak dibandingkan dengan kecepatan putar 150 rpm, serta produk korosi terlihat lebih halus dan hampir menutupi seluruh permukaan baja. Tetapi, pada sampel uji dengan rasio luasan 4:1 untuk semua parameter putaran, produk korosi yang terbentuk cenderung sedikit di sekitar *coupling*. Hal ini sesuai dengan data tabel 4.2 bahwasanya pada luasan baja yang lebih besar memiliki laju korosi yang paling rendah dan dibuktikan juga dengan gambar 4.3 (c), 4.4 (c) dan 4.5 (c) permukaan baja cenderung tertutupi oleh produk korosi yang sedikit dan di sekitar *coupling*.



Pengamatan morfologi permukaan baja setelah dibersihkan dari produk korosi yang menempel pada permukaan sekitar *coupling* didapatkan bahwa adanya aliran mempengaruhi perubahan morfologi pada permukaan baja. Hal ini dibuktikan pada gambar 4.11 dan 4.12, sampel uji yang diberi kecepatan putar memiliki pola jejak penyerangan korosi yang tidak utuh dan tersebar di permukaan baja dibandingkan dengan sampel uji tanpa diberi kecepatan putar, pada sampel ini pola yang terbentuk cenderung utuh dan menumpuk di sekitar *coupling*.

Pengujian XRD sampel baja pada kecepatan putar 250 rpm dengan rasio luasan 1:4 teridentifikasi puncak tertinggi merupakan senyawa Fe_2O_3 . Senyawa ini merupakan produk korosi dari baja. Fe_2O_3 terbentuk baja bereaksi dengan oksigen dalam larutan. Selain itu, teridentifikasi senyawa FeCl_2 , senyawa ini terbentuk akibat baja mengalami reaksi dengan larutan NaCl .



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan mengenai studi pengaruh kecepatan putar dan perbandingan luasan terhadap karakteristik korosi galvanic coupling baja AISI 1045 dan stainless steel 304 pada lingkungan 3,5% NaCl dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Laju korosi baja AISI 1045 mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan kecepatan putar dan penurunan luasan baja AISI 1045 terhadap SS304. Namun pengaruh kecepatan putar lebih dominan terhadap meningkatnya laju korosi daripada efek *galvanic coupling*.
2. Kecepatan putar mengakibatkan perubahan morfologi permukaan baja AISI 1045 bahwasanya pada permukaan baja terbentuk pola jejak penyerangan korosi yang tidak utuh dan menyebar di sekitar *coupling*.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian ini sebagai berikut.

1. Memperhatikan sambungan antar logam serta permukaan yang rata agar didapatkan *coupling* yang kuat sebagai syarat terjadinya *galvanic coupling*.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM INTERNATIONAL. (1994).
- Callister, W. D. (2014). *Material Science and Engineering an Introduction 9th Edition*. USA: John Wiley & Sons, INC.
- Fontana, M. G. (1987). *Corrosion Engineering Third Edition*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Gabe. (1998). The rotating cylinder electrode: its continued. *JOURNAL OF APPLIED ELECTROCHEMISTRY* 28, 759-790.
- Jones, D. A. (1996). *Principles and Prevention of Corrosion*. Nevada: Practice Hall, INC.
- Kim, J., Choi, Y., Lee, H., & Chung, W. (2003). Effects of FLOW Velocity, pH, and Temperature on Galvanic Corrosion in Alkaline-Chloride Solutions. *NACE INTERNATIONAL CORROSION SCIENCE SECTION*, 121.
- McCafferty, E. (2010). *Introduction to Corrosion Science*. USA: Springer New York Dordrecht Heidelberg London.
- Nouval, M. (2012). Pengaruh Rasio Luasan Terhadap Perilaku Korosi Galvanic Coupling Baja Stainless Steel 304 dan Baja Karbon Rendah AISI 1010. *Jurnal Teknik POMITS Vol. 1 No. 2*.
- Peabody, A. (2001). *Control of Pipeline Corrosion*. Houston: NACE Press.
- PINE Research Instruments. (2006). Technical Note. *Study of Mass-Transport Limited Corrosion Using Pine Rotating Cylinder Electrodes*.
- Priantoro, F. (2012). Analisa Pengaruh Luasan Scratch Permukaan Terhadap Laju Korosi pada Pelat Baja A36 dengan Variasi Sistem Pengelasan. *Jurnal Teknik ITS*.

- Reve, R. W. (2000). *UHLIG'S CORROSION HANDBOOK SECOND EDITION*. Kanada: John Wiley & Sons, INC.
- Schweitzer, P. A. (2004). *Encyclopedia of Corrosion Technology Second Edition*. New York: Marcel Dekker, INC.
- Silverman, D. C. (1988). Rotating Cylinder Electrode - Geometry Relationships for Prediction of Velocity-Sensitive Corrosion. *CORROSION-NACE*.
- Song, G. D., & Jeon, S.-H. (2017). Galvanic Effect of Magnetite on the Corrosion Behavior of Carbon Steel in Deaerated Alkaline Solutions Under Flowing Conditions.
- Suherman, W. (1999). *Diktat Kuliah Ilmu Logam II*. Surabaya.
- Trethewey, K., & Chamberlain, J. (1991). *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Wang, Z., Wang, Y., & Wang, C. (2018). Area Ratio of Cathode/Anode Effect on the Galvanic Corrosion of High Potential Difference Coupling in Seawater. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Xiao, K., Li, X., Dong, C., & Cheng, Y. (2010). Erosion accelerated corrosion of a carbon steel–stainless steel galvanic couple in. *Wear* 270, 39-45.
- Zaki, A. (2006). *Corrosion Engineering and Corrosion Control*. US: Elsevier.

LAMPIRAN

1. Perhitungan Kecepatan Putar

Untuk mendapatkan nilai *Reynold Number* harus mengkonversi kecepatan putar menjadi kecepatan linear, kemudian bisa dihitung *Re* :

$$U_{cyl} = \omega r_{cyl} = \pi d_{cyl} F / 60$$

ω = Kecepatan putar (rad/s)

d_{cyl} = Jari – jari sampel (cm)

F = Kecepatan putar (RPM)

$$RE = U_{cyl} d_{cyl} \rho / \mu$$

U_{cyl} = kecepatan linear dari permukaan luar (cm/s)

d_{cyl} = Diameter silinder (cm)

ρ = Berat jenis larutan (gr/cm³)

μ = Viskositas larutan (gr/cm s)

$$\tau_{cyl} = 0,0791 \rho RE^{-0,3} U_{cyl}^2$$

τ_{cyl} = *Wall Shear Stress*

Perhitungan untuk kecepatan putar 150 RPM

$$U_{cyl} = \pi d_{cyl} F / 60$$

$$= (3,14 \times 1 \times 150) / 60$$

$$= 7,854 \text{ cm/s}$$

$$RE = U_{cyl} d_{cyl} \rho / \mu$$

$$= (7,854 \times 1 \times 1) / (0,008411)$$

$$= 940,311$$

$$\tau_{cyl} = 0,0791 \rho RE^{-0,3} U_{cyl}^2$$

$$= 0,0791 \times 1 \times (940,311)^{-0,3} \times (7,854)^2$$

$$= 0,630 \text{ gr/cm} \cdot \text{s}^2$$

Perhitungan untuk kecepatan putar 250 RPM

$$\begin{aligned}U_{cyl} &= \pi d_{cyl} F / 60 \\&= (3,14 \times 1 \times 250) / 60 \\&= 13,089 \text{ cm/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}RE &= U_{cyl} d_{cyl} \rho / \mu \\&= (13,089 \times 1 \times 1,0196) / (0,00841) \\&= 1567,186\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_{cyl} &= 0,0791 \rho RE^{-0,3} U_{cyl}^2 \\&= 0,0791 \times 1,0196 \times (1567,186)^{-0,3} \times (13,089)^2 \\&= 1,502 \text{ gr/cm} \cdot \text{s}^2\end{aligned}$$

2. Data perhitungan laju korosi dengan metode *weight loss*

RPM	Rasio AISI 1045 : SS304	Panjang (mm)	Diameter (mm)	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/yr)	Rata- rata
0	1:1	8,8	9,6	4,675	4,663	0,012	0,206	0,228
		9,3	9,5	4,852	4,836	0,016	0,259	
		9,8	9,6	5,765	5,751	0,014	0,218	
	4:1	40,0	9,5	20,692	20,656	0,036	0,138	0,141
		40,2	9,6	20,858	20,813	0,045	0,172	
		39,8	9,8	20,794	20,764	0,030	0,112	
	1:4	11,0	9,4	5,558	5,540	0,019	0,269	0,271
		9,6	9,5	5,030	5,011	0,019	0,313	
		9,8	9,6	5,037	5,022	0,015	0,231	
150	1:1	10,5	9,6	5,593	5,473	0,121	1,766	1,874
		10,0	9,6	5,202	5,077	0,125	1,928	
		11,0	9,6	5,797	5,659	0,138	1,929	
	4:1	39,5	9,4	20,390	20,197	0,193	0,767	0,747
		40,2	9,5	21,374	21,181	0,193	0,747	
		39,6	9,4	20,477	20,294	0,183	0,727	
	1:4	9,3	9,5	4,903	4,779	0,125	2,088	1,947
		8,5	9,6	4,449	4,341	0,108	1,953	
		8,2	9,5	4,185	4,090	0,095	1,801	

250	1:1	8,1	9,3	4,367	4,218	0,149	2,920	2,321
		8,4	9,4	4,320	4,199	0,121	2,260	
		12,0	9,4	6,087	5,951	0,136	1,785	
	4:1	39,8	9,5	20,428	20,189	0,239	0,932	0,929
		39,6	9,5	20,835	20,612	0,224	0,878	
		40,0	9,5	20,888	20,637	0,251	0,976	
	1:4	9,6	9,6	5,052	4,879	0,173	2,771	2,461
		8,7	9,4	4,646	4,492	0,154	2,780	
		10,3	9,5	5,390	5,268	0,121	1,831	

3. Perhitungan Laju Korosi dengan metode *weight loss*

$$CR = \frac{K W}{D \cdot A T}$$

CR = laju korosi (mm/yr)

K = konstanta ($8,76 \times 10^4$ mm/yr)

W = Selisih Berat/Berat hilang

D = densitas logam (gr/cm³)

A = Luas Permukaan (cm²)

T = waktu (jam)

Perhitungan laju korosi baja dengan Panjang 9,8 mm, diameter 9,6 mm, selisih berat 0,014 gram saat 0 rpm dengan perbandingan luasan 1:1

$$\begin{aligned}
 CR &= \frac{K W}{D \cdot A T} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \frac{\text{mm}}{\text{yr}} \times 0,014}{7,87 \times 2,95 \times 240} \\
 &= 0,218 \text{ mm/yr}
 \end{aligned}$$

Perhitungan laju korosi baja dengan Panjang 9,6 mm, diameter 9,5 mm, selisih berat 0,019 gram saat 0 rpm dengan perbandingan luasan 1:4

$$\begin{aligned} CR &= \frac{K W}{D.A T} \\ &= \frac{8,76 \times 10^4 \frac{\text{mm}}{\text{yr}} \times 0,019}{7,87 \times 2,86 \times 240} \\ &= 0,313 \text{ mm/yr} \end{aligned}$$

Perhitungan laju korosi baja dengan Panjang 40 mm, diameter 9,5 mm, selisih berat 0,036 gram saat 0 rpm dengan perbandingan luasan 4:1

$$\begin{aligned} CR &= \frac{K W}{D.A T} \\ &= \frac{8,76 \times 10^4 \frac{\text{mm}}{\text{yr}} \times 0,036}{7,87 \times 11,932 \times 240} \\ &= 0,138 \text{ mm/yr} \end{aligned}$$

Perhitungan laju korosi baja dengan Panjang 10 mm, diameter 9,6 mm, selisih berat 0,125 gram saat 150 rpm dengan perbandingan luasan 1:1

$$\begin{aligned} CR &= \frac{K W}{D.A T} \\ &= \frac{8,76 \times 10^4 \frac{\text{mm}}{\text{yr}} \times 0,125}{7,87 \times 3.0144 \times 240} \\ &= 1,928 \text{ mm/yr} \end{aligned}$$

Perhitungan laju korosi baja dengan Panjang 9,3 mm, diameter 9,5 mm, selisih berat 0,125 gram saat 150 rpm dengan perbandingan luasan 1:4

$$\begin{aligned}
 CR &= \frac{K W}{D.A T} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \frac{\text{mm}}{\text{yr}} \times 0,125}{7,87 \times 2,77 \times 240} \\
 &= 2,088 \text{ mm/yr}
 \end{aligned}$$

Perhitungan laju korosi baja dengan Panjang 40,2 mm, diameter 9,5 mm, selisih berat 0,193 gram saat 150 rpm dengan perbandingan luasan 4:1

$$\begin{aligned}
 CR &= \frac{K W}{D.A T} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \frac{\text{mm}}{\text{yr}} \times 0,193}{7,87 \times 11,99 \times 240} \\
 &= 0,747 \text{ mm/yr}
 \end{aligned}$$

Perhitungan laju korosi baja dengan Panjang 10,2 mm, diameter 9,4 mm, selisih berat 0,149 gram saat 250 rpm dengan perbandingan luasan 1:1

$$\begin{aligned}
 CR &= \frac{K W}{D.A T} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \frac{\text{mm}}{\text{yr}} \times 0,149}{7,87 \times 3,01 \times 240} \\
 &= 2,920 \text{ mm/yr}
 \end{aligned}$$

Perhitungan laju korosi baja dengan Panjang 9,6 mm, diameter 9,6 mm, selisih berat 0,173 gram saat 250 rpm dengan perbandingan luasan 1:4

$$\begin{aligned}
 CR &= \frac{K W}{D.A T} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \frac{\text{mm}}{\text{yr}} \times 0,173}{7,87 \times 2,89 \times 240} \\
 &= 2,771 \text{ mm/yr}
 \end{aligned}$$

Perhitungan laju korosi baja dengan Panjang 40 mm, diameter 9,5 mm, selisih berat 0,251 gram saat 250 rpm dengan perbandingan luasan 4:1

$$\begin{aligned} CR &= \frac{K W}{D.A T} \\ &= \frac{8,76 \times 10^{-4} \frac{\text{mm}}{\text{yr}} \times 0,251}{7,87 \times 11,932 \times 240} \\ &= 0,976 \text{ mm/yr} \end{aligned}$$

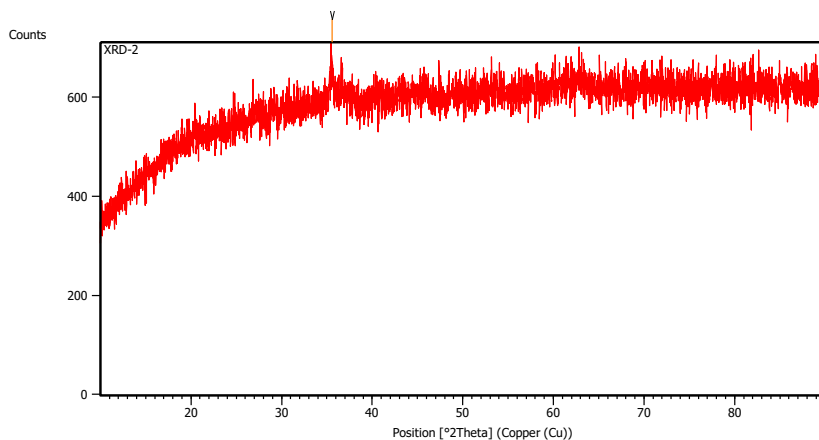
4. Data Hasil Pengujian XRD

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name	XRD-2
File name	E:\DATA PENGUJIAN\Pengujian 2018\Mei\Bayu\XRD-2\XRD-2.rd
Comment	Configuration=Reflection- Transmission Sp
	Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini
Measurement Date / Time	5/9/2018 3:12:00 PM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	10.0084
End Position [°2Th.]	89.9764
Step Size [°2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500

Scan Type	Continuous
Offset [°2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [°C]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
35.6009	70.87	0.4080	2.51976	100.00

Pattern List: (Bookmark 4)

Document History: (Bookmark 5)

Insert Measurement:

- File name = XRD-2.rd
- Modification time = "5/14/2018 7:27:56 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "5/14/2018 7:27:56 AM"
- Modification editor = "PANalytical"

Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "11/24/2017 8:15:40 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Bayu Yudha Pratama, lahir di Gresik, 10 April 1996 merupakan putra pertama dari dua bersaudara pasangan Bapak Ir. Lilik Wahyu Kartiko dan Ibu Siti Mudawamah. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Muhammadiyah GKB Gresik lulus pada tahun 2008, SMP Muhammadiyah 12 GKB Gresik lulus pada tahun 2011 dan SMAN 1 Gresik lulus pada tahun 2014. Penulis melanjutkan Pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Departemen

Teknik Material dan Metalurgi melalui jalur undangan SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri) 2014. Semasa kuliah, penulis aktif dalam berbagai bidang organisasi sebagai staff divisi usaha mandiri Badan Semi Otonom Kewirausahaan (BSO KWU) HMMT FTI-ITS tahun 2015-2016. Kemudian penulis aktif sebagai staff ahli divisi usaha mandiri BSO KWU HMMT FTI-ITS tahun 2016-2017, dan peserta seminar NACE *Corrosion Symposium* 2017 di Kuala Lumpur.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas karunianya penulis diberikan rezeki dan kesehatan sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul **“Pengaruh Kecepatan Putar dan Rasio Luasan terhadap Karakteristik Korosi *Galvanic Coupling* Baja AISI 1045 dan *Stainless Steel* 304 pada Lingkungan 3,5% NaCl dengan Metode *Rotating Cylinder Electrode*”**.